



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE EXTRACCIÓN SOBRE LAS
PROPIEDADES DE GOMA DE SEMILLA DE CHIRIMOYA

TESIS

Que como requisito parcial para
obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS



Presenta:

JAIRO OMAR RAMÍREZ ROJAS

Bajo la supervisión de:

APROBADA CONSUELO S. O. LOBATO CALLEROS, DRA.



Chapingo, Estado de México, abril de 2025

EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE EXTRACCIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DE GOMA DE SEMILLA DE CHIRIMOYA

Tesis realizada por **JAIRO OMAR RAMÍREZ ROJAS** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

DIRECTORA:



DRA. CONSUELO S. O. LOBATO CALLEROS

CODIRECTOR:



DR. JOSE ALVAREZ RAMIREZ

ASESORA:



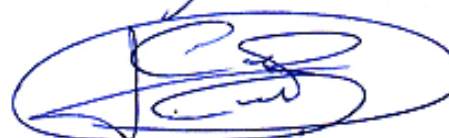
DRA. LANDY HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

ASESOR:



DR. ELEAZAR AGUIRRE MANDUJANO

LECTOR EXTERNO:



DR. JUAN CARLOS CUEVAS BERNARDINO

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIA	ix
DATOS BIOGRÁFICOS.....	x
RESUMEN GENERAL	xi
GENERAL ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Justificación	2
1.2. Hipótesis.....	4
1.3. Objetivo general	4
1.4. Objetivos particulares	4
1.5. Estructura de la tesis	4
1.6. Bibliografía	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
2.1. Gomas de semillas de plantas	8
2.1.1. Conceptualización de goma de semillas de plantas	8
2.1.2. Fuente y denominación de las gomas de plantas.....	8
2.2. Gomas obtenidas de semillas de plantas	9
2.2.1. Fuente y composición química	9

2.2.2. Composición de monosacáridos	11
2.2.3. Composición de aminoácidos	11
2.3. Métodos de extracción y purificación	12
2.4. Biopolímeros	12
2.4.1. Biopolímeros como una alternativa de consumo	12
2.4.2. Perspectivas del uso de gomas vegetales en alimentos funcionales y nutracéuticos.	13
2.5. <i>Annona cherimola</i> Mill.	13
2.5.1. Origen y distribución	14
2.5.2. Producción mundial	15
2.5.3. Producción en México e importancia económica.....	17
2.5.4. Fruto de <i>Annona cherimola</i>	17
2.5.5. Subproductos agroindustriales en la producción de chirimoya y su valorización.....	19
2.6. Referencias	22
3. Effect of the extraction temperature on the physicochemical, functional and <i>in vitro</i> protein digestibility of chirimoya (<i>Annona cherimola</i> Mill.) seed composite	31
ABSTRACT	31
3.1. Introduction.....	32
3.2. Materials and Methods	33
3.2.1. Vegetal Material	33
3.2.2. Defatted Kernel Flour (DKF)	33
3.2.3. Reagents	33
3.2.4. Characterization of the Chirimoya Fruit	34
3.2.5. Extraction of Chirimoya Seed Composite (CC).....	34

3.2.6. Yield.....	35
3.2.7. Physicochemical Characterization	35
3.2.8. Antioxidant Activity.....	38
3.2.9. Emulsifying Capacity (EC) and Emulsifying Stability (ES)	39
3.2.10. <i>In vitro</i> Protein Digestibility.....	40
3.2.11. Statistical Analysis	40
3.3. Results and Discussion	41
3.3.1. Characterization of the Cherimoya Fruit	41
3.3.2. Composition and Morphology	41
3.3.3. Color	44
3.3.4. Swelling Index (SI), Water Solubility Index (WSI), Water Absorption Capacity (WAC), and Oil Holding Capacity (OHC)	44
3.3.5. ζ -potential and Particle Size.....	45
3.3.6. Antioxidant Activity.....	46
3.3.7. Emulsifying Capacity (EC) and Emulsion Stability (ES)	47
3.3.8. <i>In vitro</i> Protein Digestibility.....	48
3.4. Conclusions.....	48
3.5. References	49
4. CONCLUSIONES GENERALES	54

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Fuente y composición de monosacáridos de gomas de semillas/mucílagos.....	10
Cuadro 2. Monosacáridos presentes en algunas gomas de semillas de plantas.	11
Cuadro 3. Principales países productores de chirimoya.	17
Cuadro 4. Composición nutricional y valor energético, por cada 100 gramos de porción comestible en base húmeda, de la pulpa de cuatro cultivares de <i>Annona cherimola</i> Mill.	19
Cuadro 5. Variables biofísicas de frutos de chirimoya de los cultivares 'Campas', 'White' y 'Bonita'	20
Cuadro 6. Contenidos de aceite y ácidos grasos expresados en gramos por cada 100 gramos de ésteres metílicos de ácidos grasos en semillas de los cultivares de chirimoya "Fino de Jinete" y "Campa".....	21
Cuadro 7. Cherimoya seed composite yield and chemical composition.....	41
Cuadro 8. Physicochemical and antioxidant properties of cherimoya seed composite as function of extraction temperature.....	45
Cuadro 9. ζ -potential and hydrodynamic diameter (d_h) of cherimoya seed composite as function of pH.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de cultivos de chirimoya en el mundo.	15
Figura 2. SEM micrographs of cherimoya seed composites (CCs) extracted at: 70 °C (CC ₇₀), 80 °C (CC ₈₀), and 90 °C (CC ₉₀). Magnification 1000 ×.	43

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Portada de artículo científico publicado.	56
---	----

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Ingeniería Agroindustrial y al Departamento de Preparatoria Agrícola por las facilidades brindadas para la realización de esta investigación.

Al Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, por la oportunidad de pertenecer a la 7^{ma} generación de Doctorado y por todos los conocimientos adquiridos durante mi estancia.

A la Dra. Consuelo S. O. Lobato Calleros, por su apoyo en la dirección de este proyecto de investigación, por todo el apoyo recibido, motivación, guía, paciencia y ser ejemplo de dedicación.

Al Dr. Jose Alvarez Ramírez, por su apoyo en la codirección de este proyecto de investigación, por el apoyo y orientación, así como por las facilidades otorgadas en la UAM-Iztapalapa.

A mis asesores: Dra. Landy Hernández Rodríguez y Dr. Eleazar Aguirre Mandujano, por su orientación, paciencia, congruencia, acertadas opiniones y sugerencias para elaborar correctamente este trabajo de investigación.

A mis compañeros de la séptima generación del DCA, especialmente a Karla García de la Rosa por los gratos momentos de aprendizaje y consejos y que, sin duda su amistad contribuyó para que mi estancia fuera más amena.

A todos mis compañeros del Laboratorio de Tecnología de Alimentos, del Departamento de Preparatoria Agrícola y de generación por su apoyo y consejos.

DEDICATORIA

A mi familia, quienes han sido la partida de mis aprendizajes y conocimientos, ese sostén que alimentó día a día mi conexión para continuar con mis objetivos, por su apoyo, sus consejos, su tiempo, su calidez y amor incondicional.

A mis papás: María Dolores Rojas González y J. Nieves Ramírez García, a mis hermanos: Christian, Alejandro y Mauricio quienes son mi motor y fortaleza, mi mayor tesoro y las personas que más amo. Gracias por estar siempre a mi lado.

A Juan Manuel Zárate Zaragoza, por el apoyo, comprensión, paciencia, motivación y cariño en esta etapa de mi vida. Sin duda alguna, ayudaron a que mi estancia fuera reconfortante.

A mis amigos, en especial a Valeria Martínez, Dalia Luna y Gilberto Pérez por estar presentes siempre.

Y a todas aquellas personas que forman parte de mi vida, quienes me alientan a seguir adelante, me demuestran constantemente su cariño y han compartido conmigo el deseo profundo de alcanzar este logro.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre:	Jairo Omar Ramírez Rojas
Fecha de nacimiento:	15 de abril de 1995
Lugar de nacimiento:	Celaya, Guanajuato
No. Cartilla militar	D-3086661
CURP:	RARJ950415HGTMJR05
Profesión:	Ingeniero Agroindustrial
Cédula profesional:	11529842

Desarrollo académico

Preparatoria	Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura	Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo
Maestría	Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapino

RESUMEN GENERAL

EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE EXTRACCIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DE GOMA DE SEMILLA DE CHIRIMOYA

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) es un cultivo tropical que se cultiva en regiones tropicales y subtropicales de América Latina. Generalmente, solo se utiliza la pulpa del fruto, dejando la cáscara y las semillas como subproductos agroindustriales. El objetivo de este estudio fue desarrollar un método para extraer la goma contenida en las semillas de chirimoya en función de la temperatura y evaluar sus efectos sobre las propiedades funcionales y fisicoquímicas. Se obtuvo un compuesto de semillas de chirimoya (CC) mediante extracción acuosa de harina del endospermo desgrasada a diferentes temperaturas (70, 80 y 90 °C), y se caracterizó en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, funcionales y digestibilidad proteica *in vitro*. El análisis por microscopía reveló que el CC presenta una estructura en capas, independientemente de la temperatura de extracción. La actividad antioxidante se vio favorecida por el aumento de la temperatura de extracción, mientras que el contenido de proteína disminuyó y su digestibilidad aumentó. En general, los resultados indican que el CC tiene un gran potencial de aplicación en la industria alimentaria como estabilizante de emulsiones, aditivo proteico y agente espesante.

Palabras clave: *Annona cherimola*, glicofructano, compuesto de semillas de chirimoya, extracción acuosa, propiedades fisicoquímicas, desnaturalización proteica.

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: M.C. Jairo Omar Ramírez Rojas

Directora de Tesis: Dra. Consuelo Silvia Olivia Lobato Calleros

GENERAL ABSTRACT

EFFECT OF EXTRACTION TEMPERATURE ON THE PROPERTIES OF CHERIMOYA SEED GUM

Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) is a tropical crop cultivated throughout tropical and subtropical regions of Latin America. Only the fruit pulp is typically utilized, leaving the peel and seeds as agroindustrial byproducts. The aim of this study was to develop a method for extracting the gum contained in cherimoya seeds based on temperature, and to evaluate its effects on functional and physicochemical properties. A cherimoya seed composite (CC) was obtained through aqueous extraction of defatted kernel flour at different temperatures (70, 80, and 90 °C), and was characterized in terms of its physicochemical, functional, and in vitro protein digestibility properties. Microscopy analysis revealed that the CC exhibits a layered structure, regardless of the extraction temperature. Antioxidant activity was positively influenced by the extraction temperature, while protein content decreased and digestibility increased. Overall, the results indicate that the CC has strong potential for application in the food industry as an emulsion stabilizer, protein additive, and thickening agent.

Key words: *Annona cherimola*, glycofructan, cherimoya seed composite, aqueous extraction, physicochemical properties, protein denaturation.

Doctoral Thesis in Ciencias Agroalimentarias, Postgraduate Program en Ciencia Y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo

Author: IAI. Jairo Omar Ramírez Rojas

Thesis Director: Dra. Consuelo S. O. Lobato Calleros

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las gomas de semillas de plantas (GSP) se han estudiado recientemente por sus características como biopolímeros emergentes, sus propiedades funcionales (espesante, ligante de agua, gelificante, estabilizante y emulsionante), así como su potencial de aplicación en la industria farmacéutica e industria alimentaria (Archana et al., 2013; Soukoulis et al., 2018). Las GSP son ampliamente disponibles, no tóxicas, biodegradables y biocompatibles (Avachat et al., 2011). De esta manera, las semillas de plantas procedentes de las industrias de procesamiento agroalimentario son una fuente interesante y económica de gomas con una amplia variedad de funciones útiles para la manufactura de productos de valor añadido (Chandra et al., 2018; Ravindran y Jaiswal, 2015).

La familia de plantas *Annonaceae* incluye alrededor de 130 géneros y 2,300 especies distribuidas principalmente en zonas tropicales y subtropicales (Quílez et al., 2018). La semilla de chirimoya es un subproducto de la industria de la pulpa de chirimoya. Dentro género *Annona*, las especies que han alcanzado mayor desarrollo comercial son: guanábana (*Annona muricata* L.), chirimoya (*Annona cherimola* Mill) y saramuyo o anona (*Annona squamosa* L.) (Vidal et al., 2014). El uso de las gomas en la industria alimentaria es muy extenso: helados, confitería, jugos de fruta, cerveza, vinos, quesos, mermeladas, aderezos, embutidos, productos dietéticos, entre otros. En cada caso, las gomas desempeñan un papel muy característico, gracias a las propiedades funcionales que desarrollan: mejora en propiedades viscoelásticas (Yousefi, Ako & Jekle, 2024); incremento en la capacidad de retención de agua y aceite (Gong et al., 2024), mayor capacidad emulsionante y espumante (Cai et al., 2023); estas últimas dependen de diversos factores, como: la concentración de la goma, las sales minerales en el medio, el pH, el uso individual o combinado de gomas (Badui, 2006).

Las gomas vegetales de uso generalizado son los galactomananos de semillas de guar y algarrobo europeo, los exudados de acacia y karayay, goma arábica y tragacanto, las de las algas, carragenanos y alginatos. Todas ellas son conocidas por sus aplicaciones tecnológico-alimentarias en todo el mundo (Mumtaz, 2019). La goma de semilla de chirimoya (GC) por su parte, se puede considerar como un biopolímero prometedor con posibles aplicaciones como estabilizante, espesante, agente de viscosidad, emulsionante, gelificante, vehículo de fármacos, retardante en la liberación de compuestos bioactivos y agente aglutinante en las industrias farmacéutica y de alimentos (Joseph et al., 2012; Mirhosseini y Amid, 2012).

Recientemente, la demanda de alimentos naturales por parte de los consumidores ha incentivado la búsqueda de fuentes alternativas de gomas alimenticias, una de esas fuentes puede ser las semillas. Las gomas así obtenidas deben ser caracterizadas para determinar sus posibles aplicaciones. En este contexto, los objetivos del presente trabajo fueron: establecer el método de extracción de la goma contenida en las semillas de chirimoya en función de la temperatura (70, 80 y 90 °C), y evaluar el efecto que tiene en sus propiedades funcionales y fisicoquímicas. Además de contribuir al aprovechamiento de las semillas de chirimoya que actualmente son un desecho agroindustrial y sentar las bases para el uso de la GC a partir del conocimiento de sus propiedades funcionales.

1.1. Justificación

En los últimos 20 años se han realizado numerosos estudios sobre la extracción, caracterización, composición química y propiedades fisicoquímicas de diversas gomas de plantas con la finalidad de encontrar nuevas fuentes de biopolímeros en las industrias farmacéutica y alimentaria, que además de poseer propiedades funcionales específicas, sean amigables con el medio ambiente alimentaria (Archana et al., 2013; Soukoulis et al., 2018). De esta manera, las semillas de plantas procedentes de las industrias de procesamiento agroalimentario son una fuente latente y económica de gomas con una amplia variedad de funciones útiles

para la manufactura de productos de valor añadido (Chandra et al., 2018; Ravindran y Jaiswal, 2015).

La semilla de chirimoya es una de las fracciones no comestibles del fruto, además de no poseer algún tipo de aprovechamiento como subproducto agroindustrial en México, representando 30 t (SIAP, 2022), afectando de manera negativa al ambiente, en ese sentido, la goma contenida en la semilla de chirimoya (GC) no ha sido estudiada como biopolímero, pudiendo poseer gran potencial de aplicación en las industrias ya mencionadas, debido a que sus propiedades funcionales pueden ser útiles para la producción de alimentos procesados u otros productos que demanden características mecánicas, funcionales o de estabilidad específicas; brindando así una fuente alternativa de goma alimentaria.

Además de la importancia y buena selección del método de extracción, se ha demostrado que los métodos de purificación de las gomas determinan en gran medida sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, y en consecuencia su potencial de aplicación. Cui et al (1994) estudiaron el efecto de la temperatura de extracción sobre el rendimiento, composición y reología de la goma de semilla de lino; no dando por sentado el efecto de la temperatura de extracción sobre las propiedades funcionales, investigando más a fondo la relación estructura-función pues sigue siendo ambigua. Es necesario, entonces, investigar el efecto de los métodos de extracción y de purificación aplicados en la GC para determinar los factores estructurales que vinculan la temperatura con las propiedades funcionales.

Comprender las propiedades de los polímeros vegetales es importante a la hora de optimizar su uso como agentes estabilizantes, espumantes y emulsificantes. Qian et al (2012) encontraron que una fracción ácida con un contenido de proteína del 8% p/p exhibía mejores propiedades emulsificantes y una mayor actividad superficial que una fracción neutra sin proteína. No obstante, Ding et al (2014) informaron que una fracción no proteica exhibió una mejor actividad superficial que algunas fracciones con proteína. Los conocimientos que se generen a partir de este estudio podrán contribuir a la selección del proceso de

purificación más adecuado para la obtención de ciertas propiedades funcionales en la goma, así como la realización de ensayos para optimizar el proceso y efficientizar los recursos; reutilizando un residuo agroindustrial y contribuyendo positivamente al entorno de una manera socialmente responsable.

1.2. Hipótesis

La variación en la temperatura de extracción durante la solubilización acuosa (70, 80 y 90 °C) afectará las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la goma de semilla de chirimoya.

1.3. Objetivo general

Evaluar el efecto de la temperatura de extracción en la goma de semilla de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) sobre sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, mediante variaciones de temperatura en la extracción acuosa, con el fin de determinar las condiciones óptimas y mejorar sus propiedades tecnofuncionales.

1.4. Objetivos particulares

1. Establecer el proceso de extracción de goma de semilla de chirimoya (GC) como función de la temperatura: 70, 80 y 90 °C.
2. Analizar el efecto de la temperatura de extracción sobre el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas, como la composición químico proximal, actividad acuosa (Aw), color, densidad aparente y real, y los índices de cohesión y compresión de la GC.
3. Evaluar el efecto de la temperatura de extracción sobre las propiedades funcionales, como capacidad de absorción de agua, solubilidad, capacidad de retención de aceite, índice de hinchamiento, capacidad emulsificante y capacidad en la formación de espuma de la GC.

1.5. Estructura de la tesis

La tesis cuenta con 4 capítulos. El capítulo uno contiene la Introducción general. En el capítulo dos se presenta la información derivada de la revisión bibliográfica como aquella econométrica, de producción y composición del fruto de chirimoya,

abordada desde el ámbito internacional hasta la producción en México. En el capítulo tres se presenta la caracterización fisicoquímica y funcional de las gomas de semilla de chirimoya extraídas a distintas temperaturas (70, 80 y 90 °C).

Finalmente, el capítulo cuatro incluye las conclusiones generales del proyecto de investigación realizado.

1.6. Bibliografía

- Achi, O. K. & Okolo, N. I. (2010). The chemical composition and some physical properties of a water-soluble gum from *Prosopis africana* seeds. *International Journal of Food Science & Technology*, 39(4), 431-436. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00801.x>
- Albuquerque, T. G., Santos, F., Sanches-Silva, A., Beatriz Oliveira, M., Bento, A. C. & Costa, H. S. (2016). Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. fruits and by-products: Potential health benefits. *Food Chemistry*, 193, 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.044>
- Andrés, J. & Segura, S. D. (2014). Conservación y uso de los recursos genéticos de *Annonaceae* en México. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 118-124. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500014>
- Apolonio, I., Castañeda, A., Franco, O., Morales, E. J. & González, A. (2015). Influencia de la fuente de polen y su efectividad en la calidad de frutos de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.), *Agronomía Costarricense*, 39 (1), 61-69.
- Archana, G., Sabina, K., Babuskin, S., Radhakrishnan, K., Fayidh, M. A. & Saravana, P. A. (2013). Preparation and characterization of mucilage polysaccharide for biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, 98, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.062>
- Ariza-Flores, R., Serrano-Altamirano, V., Navarro-Galindo, S., Ovando-Cruz, M. E., Vázquez-García, E., Barrios-Ayala, A., Michel-Avecas, A., Guzmán-Maldonado, S. H. & Otero-Sánchez, M. A. (2014). Variedades mexicanas de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) 'Alma Blanca' y 'Rosalíz' de color claro, y 'Cotzaltzin' y 'Tecoanapa' de color rojo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2), 181-185.
- Avachat, A.M., Dash, R. R. & Shrotriya, S. N. (2011). Recent investigations of plant based natural gums and mucilages in novel drug delivery systems. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 45, 86-89.
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos. Estado de México, México: Pearson Educación.

- Biodiversity International. (2008). Descriptores para chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Roma, Italia: Biodiversity International.
- Bonavia, D., Ochoa, C. M., Tovar, S. O. & Palomino, R. C. (2004). Archaeological evidence of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) and guanabana (*Annona muricata* L.) in ancient Peru. *Economic Botany*, 58, 509-522. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0509:AEOCAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0509:AEOCAC]2.0.CO;2)
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32(7), 62-66.
- Brian, J., Kirby, E. F. & Hasselbrink J. (2004). Zeta potential of microfluidic substrates: 1. Theory experimental techniques, and effects on separations. *Electrophoresis*, 25, 187-202. <https://doi.org/10.1002/elps.200305754>
- Cai, X-S, Ning, Y-Y., Qin, Z., Liu, H-M., Wang, X-D. & Hou, L-X. (2023). Evaluation of functional properties and freeze-thaw stability of Chinese quince (*Chaenomeles sinensis*) seed gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 16, 105088. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105088>
- Cautín, R. (1998, 17-19 octubre). Floración y polinización [Curso de producción de chirimoyas]. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. La Serena, Chile.
- Cerdas-Araya, M. M., Umaña-Rojas, G. & Castro-Retana, J. J. (2007). Manual de manejo postcosecha de anona (*Annona cherimola* Mill.). San José, Costa Rica: MAG.
- Chandra, C., Harini, B., Vajiha, B., Lalitha, U., Maria, P., Babuskin, S., Karthikeyan, M. & Sukumar, M. (2018). Extraction and characterization of polysaccharides from tamarind seeds, rice mill residue, okra waste and sugarcane bagasse for its biothermoplastic properties. *Carbohydrate Polymers*, 186, 394-401. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.057>
- Chatrou, L. W. (1999). The *Annonaceae* and the *Annonaceae* Project: A Brief Overview of The State Of Affairs. *Acta Horticulturae*, 497, 43-49.
- Couvreux, T. L. P., Maas, P. J. M., Meinke, D. M. S., Johnson & Kebler, P. J. A. (2012). Keys to the genera of *Annonaceae*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 169, 74-83.
- Gong, H., Kan, G., Li, L., Chen, L., Zi, Y., Shi, C., Wang, X. & Zhong, J. (2024). Effects of the extraction temperatures on the protein contents, gelatin purities, physicochemical properties, and functional properties of tilapia scale gelatins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 278, 135040. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135040>
- Mumtaz, A., Ahmed, I. & Ahmad, N. (2019). Sources, structure, properties and health benefits of plant gums: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 46-61. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.103>

Yousefi, A., Ako, K. & Jekle, M. (2024). Incorporation of *Lepidium perfoliatum* seed gum into wheat starch affects its physicochemical, viscoelastic, pasting and freeze-thaw syneresis properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 259, 129344.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129344>

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Gomas de semillas de plantas

2.1.1. Conceptualización de goma de semillas de plantas

A las gomas obtenidas de plantas, ya sea después del proceso de exudación natural o empleando la extracción de tejidos de diferentes partes botánicas se les denominan gomas vegetales (Petrea et al., 2013). Químicamente, las gomas son polisacáridos en el que diferentes unidades de monosacáridos se unen a través de enlaces glucosídicos (Izydorczyk et al., 2005).

El uso de las gomas en la industria alimentaria es muy extenso: helados, confitería, jugos de fruta, cerveza, vinos, quesos, mermeladas, aderezos, embutidos, productos dietéticos, entre otros. En cada caso, las gomas desempeñan un papel muy característico, gracias a las propiedades funcionales que desarrollan; estas últimas dependen de diversos factores como la concentración de la goma, las sales minerales en el medio, el pH, el uso individual o combinado de gomas (Badui, 2006).

Las gomas vegetales de uso generalizado son los galactomananos de semillas de guar y algarrobo europeo, los exudados de acacia y karayay, goma arábica y tragacanto, las de las algas, carragenanos y alginatos. Todas ellas son conocidas por sus aplicaciones tecnológico-alimentarias en todo el mundo (Mumtaz et al., 2019).

2.1.2. Fuente y denominación de las gomas de plantas

Las gomas se conocen como polisacáridos complejos de diversas fuentes, por ejemplo, endospermo de semillas de plantas (goma guar), exudados de plantas

(tragacanto), exudados de árboles o arbustos (goma arábica, goma karaya (KG), mezquite y tragacanto), extractos de algas marinas (agar), bacterias (goma xantana) y fuentes animales (quitina y condroitina sulfato) (Laaman, 2011; Vernon-Carter, Beristain & Pedroza-Islas, 2000; Williams, Phillips & de Vries, 2009).

Los hidrocoloides naturales se pueden utilizar como fibra dietética, modificadores de textura, agentes gelificantes, espesantes, estabilizantes, así como emulsionantes, agentes de recubrimiento y películas de embalaje. Las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la goma de origen vegetal están influenciadas por la composición química, la estructura molecular, la extracción y las condiciones de procesamiento posteriores (Williams, Phillips & de Vries, 2009).

En los últimos años, la demanda de hidrocoloide de origen vegetal se ha incrementado considerablemente debido a que son el ingrediente más notable en alimentos líquidos y semisólidos (Williams, Phillips & de Vries, 2009). Varias partes de la planta (por ejemplo, las paredes celulares de las plantas, los exudados de los árboles, las semillas, los tubérculos/raíces y las algas marinas) tienen células superficiales que contienen gomas, mucílagos, fibra y compuestos proteicos. De hecho, los exudados de goma vegetal son producidos por las plantas como resultado de los mecanismos de protección contra lesiones mecánicas o microbianas (Rana et al., 2011).

2.2. Gomas obtenidas de semillas de plantas

2.2.1. Fuente y composición química

Las gomas de semillas de plantas (GSP) han recibido recientemente gran atención como biopolímeros emergentes (Cuadro 1) debido a sus propiedades funcionales (espesante, ligante de agua, gelificante, estabilizante y emulsificante) y a su potencial de aplicación en las industrias farmacéutica y alimentaria (Archana et al., 2013; Soukoulis et al., 2018).

Cuadro 1. Fuente y composición de monosacáridos de gomas de semillas/mucílagos.

Goma	Fuente	Composición de monosacáridos	Referencia
Guar	<i>Cyamopsis tetragonolobus</i> y <i>C. psoraloids</i>	Unidades de manopiranosilo y galactopiranosilo (proporción 2: 1)	Reid (1985); Mumtaz & Ahmed (2017).
Semilla de mezquite	<i>Prosopis flexuosa</i> , <i>Prosopis africana</i> , y <i>Prosopis juliflora</i> , <i>Prosopis</i> spp.	Galactopiranosilo y manopiranosilo en una cadena principal (relación 2: 1) unida con unidades de arabinosilo, ramnopiranosilo, glucuronosilo y metilglucuronosilo	Ibáñez y Ferrero (2003); Vernon-Carter, Beristain & Pedroza-Islas (2000); Achi y Okolo (2010); Rincón et al., (2014).
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	Glucosilo: xilosilo: galactosilo (relación 3:2:1)	Gerard (1980); Crispín-Isidro et al., (2019).
Semilla de guanábana	<i>Annona muricata</i>	Galactosilo	Torres et al., (2013).

Fuente: elaboración propia.

Además, las GSP son ampliamente disponibles, no tóxicas, biodegradables y biocompatibles (Avachat et al., 2011; Badu, Thompson & Boamah, 2025). Las semillas de plantas procedentes de las industrias de procesamiento agroalimentario son una fuente interesante y económica de gomas con una

amplia variedad de funciones útiles para la manufactura de productos de valor añadido (Chandra et al., 2018; Ravindran y Jaiswal, 2015).

Recientemente, la demanda de alimentos naturales por parte de los consumidores ha incentivado la búsqueda de fuentes alternativas de gomas alimenticias, una de esas fuentes puede ser las semillas. Para determinar sus posibles aplicaciones, las gomas obtenidas deben ser caracterizadas empleando diversos análisis, entre los que se encuentran los expuestos a continuación.

2.2.2. Composición de monosacáridos

La composición de las gomas de semillas de plantas es amplia y ésta dependerá de la fuente vegetal. El Cuadro 2, concentra los monosacáridos encontrados en algunas gomas de semillas de plantas.

Cuadro 2. Monosacáridos presentes en algunas gomas de semillas de plantas.

Origen	Monosacáridos	Nombre de la goma	Fuente
<i>Chaenomeles sinensis</i>	Glucosa-xilosa	Xiloglucano	Cai et al. (2023).
<i>Gleditsia caspica</i>	Manosa-galactosa	Galactomanano	Niknam et al. (2021).
<i>Cassia tota</i>	Manosa-galactosa	Galactomanano	Li et al. (2020).
<i>Linum usitatissimum</i>	Xilosa-arabinosa	Arabinoxilano	Kaushik et al. (2017).
<i>Tamarindus indica</i>	Glucosa-xilosa	Xiloglucano	Alpizar-Reyes et al. (2017).
<i>Allium ampeloprasum</i>	Glucosa-fructosa	Glucofructano	Malafaia et al. (2015).

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Composición de aminoácidos

Las gomas se conocen como polisacáridos complejos de diversas fuentes, mismas que pueden poseer células superficiales que contienen gomas, mucílagos, fibra y compuestos proteicos. Aunque se busca conocer

principalmente las propiedades tecnofuncionales atribuidas por los carbohidratos. Aunque en la actualidad, no hay información sobre el perfil de aminoácidos en las gomas, es importante señalar que el contenido proteico puede modificar el comportamiento de dichas propiedades, por lo que en ocasiones resulta importante investigar la calidad y composición de la proteína.

2.3. Métodos de extracción y purificación

Los diferentes métodos de extracción dan lugar a cambios en los atributos estructurales del compuesto. Por ejemplo, la hidrólisis enzimática puede interferir con las cadenas químicas de celulosa, hemicelulosa y lignina (Santala et al., 2014), mientras que la exposición a microondas y ultrasonidos podría romper la pared celular y alterar la morfología y estructura del polímero de carbohidratos (Chen et al., 2022). Las características estructurales de los polisacáridos podrían analizarse, entre otras cosas, mediante el uso de difracción de rayos X (DRX), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM) (Shen et al., 2025). Las funciones de las gomas de las semillas como espesantes, estabilizantes, emulsionantes o agentes espumantes se ven afectadas por su estructura y características fisicoquímicas (López-Franco et al., 2013). Además, los diferentes métodos de extracción y purificación también afectan a los atributos funcionales de las gomas (Rashid et al., 2018).

2.4. Biopolímeros

2.4.1. Biopolímeros como una alternativa de consumo

Las gomas son polisacáridos solubles en agua que se utilizan en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. Las gomas de semilla son las preferidas entre los hidrocoloides comercializados debido a su disponibilidad, bajo precio y características deseables (Naji et al., 2013; Niknam et al., 2020). Además, las gomas de semillas son bien conocidas por sus funciones como estabilizantes, espesantes y emulsionantes en función de sus propiedades fisicoquímicas específicas (Vilaró et al., 2018). En términos de aplicación comercial, la goma guar (GG) y la goma garrofín (LBG) son las gomas de semillas más utilizadas

debido a su propiedad de viscosidad (Castañeda-Ovando et al., 2020). Además, existe una gran demanda de hidrocoloides para la industria alimentaria, en particular para la fabricación de productos alimenticios innovadores con excelentes propiedades gustativas y beneficiosas para la salud (Douaire y Norton, 2013).

Por otro lado, Avatach et al. (2011) mencionaron que las gomas de semillas plantas tienen diversas ventajas en comparación con polímeros sintéticos, destacándose entre las principales: no toxicidad, amplia disponibilidad y distribución, económicas, biodegradables y biocompatibles (en formulación de medicamentos).

2.4.2. Perspectivas del uso de gomas vegetales en alimentos funcionales y nutracéuticos.

2.5. *Annona cherimola* Mill.

El ser humano se ha centrado en los beneficios de los alimentos para mejorar la salud y la calidad de vida (Hernández-García, 2020). Además de su valor nutritivo, los alimentos funcionales contienen componentes biológicamente activos que reducen el riesgo de enfermedades. Estos alimentos pueden ser naturales o modificados, con componentes añadidos, eliminados o alterados en su biodisponibilidad (Beltrán, 2016).

Entre los componentes funcionales más destacados se encuentran las gomas, sustancias que, por su origen vegetal o biotecnológico, presentan propiedades beneficiosas para la salud. Estas, al provenir de extractos de plantas, exudados, semillas o ser producidas biotecnológicamente, pueden actuar como fibra soluble, mejorando la saciedad al modificar la textura de los alimentos. Además, incrementan la viscosidad y algunas forman geles, contribuyendo a la mejora de la saciedad (Fiszman y Varela, 2013).

En este sentido, ciertos polisacáridos vegetales también han sido estudiados por sus efectos funcionales, especialmente aquellos con capacidad prebiótica. Por

ejemplo, Qi et al. (2024) reportaron que la administración *in vitro* del polisacárido de *Polygonatum sibiricum*, compuesto principalmente por fructosa y glucosa (F/G = 0.054), tuvo efectos positivos como prebiótico y regulador de la microbiota intestinal. Se ha informado que los glucofructanos se utilizan como posibles sustitutos bajos en calorías y no cancerígenos en dulces, bebidas, carnes procesadas y productos lácteos, actuando como alimentos nutraceuticos (Chacón-Villalobos, 2006).

2.5.1. Origen y distribución

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) pertenece a la familia de las anonáceas, cuya familia es importante desde el punto de vista evolutivo y económico. La familia *Annonaceae* cuenta con 130 géneros y 2, 300 especies reconocidas alrededor del mundo (Quílez et al., 2018), es la más sobresaliente dentro del orden Magnoliales, la cual se encuentra entre las angiospermas más primitivas. Cerca de 900 especies son neotropicales, 450 son afrotropicales y las otras especies son de la región indomalaya (Monroy y Marroquín, 2008). Entre las especies de la familia *Annonaceae* se incluyen árboles, arbustos y lianas distribuidas ampliamente en bosques tropicales del mundo (Couvreur et al., 2012). Los únicos géneros de las anonáceas que presentan especies con frutos comestibles son: *Annona*, *Rollinia*, *Uvaria* y *Asimina* (Chatrou, 1999).

El género *Annona* L. está constituido por alrededor de 110 especies de América tropical y subtropical, de las cuales 15 se encuentran en México, presentando así un potencial agronómico alto (Hernández-Fuentes et al., 2016). Las especies comestibles con gran aceptación en los mercados regionales e internacionales incluyen la guanábana (*Annona muricata* L.), saramuyo (*A. squamosa* L.), annona (*A. reticulata* L.), ilama (*A. diversifolia* Safford), chirimoya (*A. cherimola* Mill.) y atemoya (*A. cherimola* x *A. squamosa*) (Elías y Cruz-Castillo, 2002). La chirimoya es la única especie del género *Annona* que se desarrolla en los subtrópicos. Su origen se ubica probablemente en el sur de Ecuador y norte de Perú (Lizana y Reginato, 1990). El cultivo de esta especie actualmente se ha extendido a América Central, México y las Antillas, Francia, Brasil, Italia, India,

Israel, Filipinas, Egipto, entre otras regiones de clima subtropical (Andrés y Segura, 2014).

Las especies que actualmente se cultivan de forma comercial en México son *A. cherimola* y *A. muricata*, la primera en el Estado de México, Guanajuato, Michoacán y Morelos; y la segunda en Veracruz, Tabasco, Nayarit, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. A nivel local, muchas especies son utilizadas por su pulpa comestible, aroma, propiedades medicinales o en cercos vivos. El uso de los recursos genéticos de las anonáceas es amplio y variado, abarca desde el consumo de frutos en fresco, extracción de pulpa para jugos, yogures, helados y postres, hasta la extracción de activos con propiedades medicinales y antihelmínticas (Hernández-Fuentes et al., 2016).

2.5.2. Producción mundial

La producción de la chirimoya se encuentra establecida en muchos países, que la han considerado como una fruta con un potencial importante de ingresos económicos, por lo que su cultivo se ha visto incrementado en los últimos años (Figura 1).

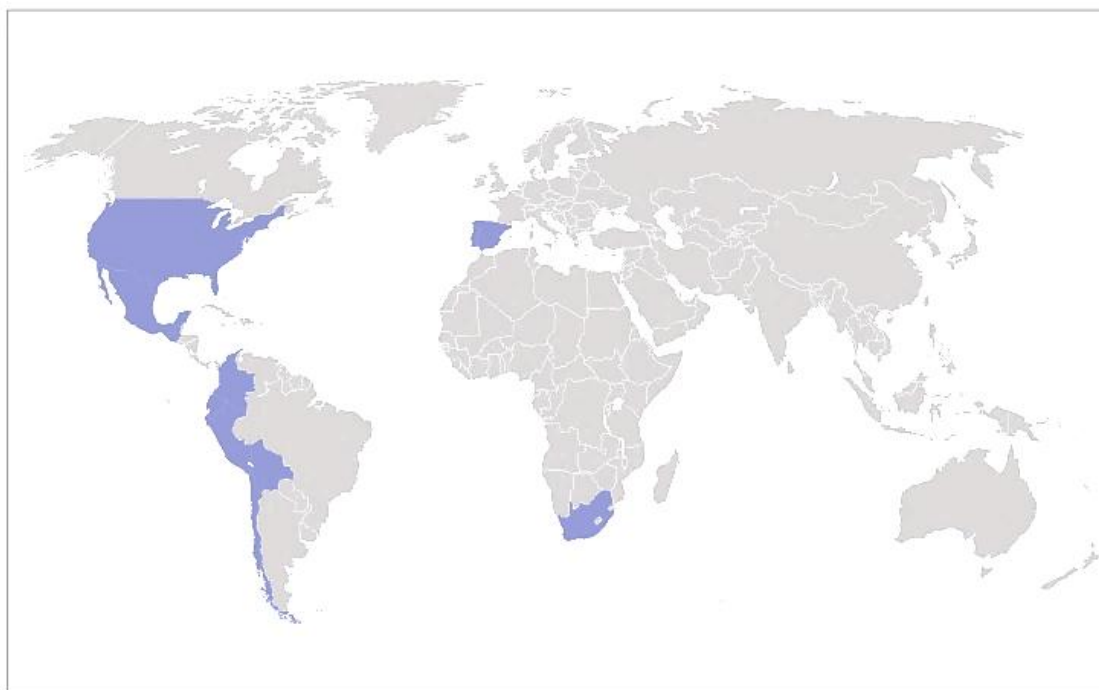


Figura 1. Distribución de cultivos de chirimoya en el mundo.

Fuente: Vásquez-Castillo et al. (2024).

A nivel mundial, el cultivo comercial de chirimoya se ha desarrollado principalmente en España, Chile y Perú. En estos países que han generado y adaptado tecnologías se ha logrado sistematizar la producción de esta fruta, que es comercializada en los mercados de Europa, principalmente, y, en menor escala, en Estados Unidos y Japón (Pérez et al., 2006; Pinto et al., 2005).

Por un lado, en el continente europeo, Díaz-Robledo (2004) menciona que la chirimoya es una fruta que representa la flora tropical de España, ya que produce 20, 000 t en 3, 600 ha de cultivo y se la considera como “la obra maestra de la naturaleza”. Asimismo, este fruto también se encuentra en Italia (específicamente en la zona de Calabria) en donde a 2014 se reporta la implementación de manera comercial de 10 productores, los cuales cosechan 100 t de chirimoya en 15 ha, entre orgánicos y convencionales (Fresh Plaza, 2014).

Por otro lado, en el continente americano, de acuerdo con la FAO (2015), California es el único estado en América del Norte que produce este fruto: 1, 000 t en 120 ha, destinadas tanto para mercado local como de exportación. En América del Sur, Chile es el mayor productor, ya que cuenta con más de 1, 000 ha de cultivo de chirimoya, destinadas principalmente al mercado de exportación. Propal S.A. es una de las empresas más importantes en Chile; acopia el 85% de la producción para ser exportado, creando el consumo de chirimoya en Japón, Taiwán y Hong Kong, lo cual representa alta rentabilidad y buenas características socioeconómicas de los productores de chirimoya. Adicionalmente, en Perú lo producen, pero en menor cantidad, específicamente en los departamentos de Lima, Piura y Cajamarca; además, en la zona de Huaura, los productores se dedican al cultivo de chirimoya orgánica y, en Colombia, la producción se centra en las zonas de Antioquía, Cundinamarca y Nariño (Hernández, 2010; Delgado, 2005). El Cuadro 3 recopila los reportes a 2005 de los principales países productores de la fruta.

Cuadro 3. Principales países productores de chirimoya.

	España	Italia	Estados Unidos	Chile	Perú
Zona de producción	Andalucía	Reggio Calabria	California	Coquimbo y Valparaíso	Piura, Lima Cajamarca
Superficie plantada (ha)	3 000	24	120	1 000	3 223
Producción (t)	40 000	100	1 000	25 000	20 000
Exportación	10-15 %	-	-	95 %	1 %

Fuente: Fernández (2014), Fresh Plaza (2014), Hernández (2010) y Kobashigawa (2018).

2.5.3. Producción en México e importancia económica

Las especies de *Annona* que sobresalen en las estadísticas de producción más importantes son la guanábana, la chirimoya y el saramuyo. De acuerdo con estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en 2023, la producción registrada de chirimoya fue de 580.63 t, en 59.50 ha sembradas entre Morelos y Michoacán, con un valor de producción de 5, 284, 610 pesos; cabe mencionar que Morelos incrementó su producción 575% con respecto al año pasado; aportando el 89.79% de la producción total.

2.5.4. Fruto de *Annona cherimola*

El nombre chirimoya deriva del quechua “chirimoya” que significa semillas frías (Bonavia et al., 2004). El árbol de chirimoya es pequeño, erguido, caducifolio y puede alcanzar una altura de hasta 8 m. Tiene hojas simples, enteras, dispuestas alternadamente y de formas ovaladas, lanceoladas o elípticas de 10 a 25 cm de largo, glabras en la superficie ventral y pubescente dorsalmente (Manica, 1997). La parte que más se aprovecha del árbol es el fruto (infrutescencia), el cual es denominado como polidrupa o sincarpo con los carpelos dispuestos en espiral que se unen después de la fructificación.

Cada uno de los frutos contiene una única semilla dura de color negro en forma de frijol. El fruto es cónico o en forma de corazón, alcanza entre 10 y 25 cm de longitud y hasta un máximo de 15 cm de anchura, con un peso promedio que oscila entre 250 a 800 g. Cuando el fruto alcanza la madurez se torna de un color

verde-amarillo; se considera que está demasiado maduro cuando la cáscara adquiere un tono marrón oscuro o negro. La piel del fruto es fina y delicada, puede ser delgada o gruesa, suave, con marcas que se asemejan a huellas dactilares, o estar cubierta de protuberancias de forma cónica o redondeada que corresponden con la zona de unión de los carpelos (Van Damme y Scheldeman, 2013). La pulpa puede ser de color blanco o amarillo crema, ligeramente ácida y fragante; posee una textura carnosa, blanda, cremosa, moderadamente jugosa, tiene un agradable y delicado sabor. El fruto compuesto contiene numerosas semillas, una por drupa (21 a 41 por infrutescencia) y llegan a medir aproximadamente entre 1.5 a 2.0 cm de longitud y 1.0 cm de ancho (Cautín, 1998).

La chirimoya es una buena fuente de vitaminas B₁, B₂ y B₃, hierro, calcio y fósforo; se consume principalmente como fruta fresca y se usa en la elaboración de helados, batidos de leche o sorbetes. También, el fruto se procesa en forma de yogur, flan, jugos y vinos. Las semillas trituradas se pueden usar como bioinsecticidas y las acetogeninas presentes en estas semillas poseen algunas propiedades farmacológicas (Biodiversity International, 2008). Además, el jugo obtenido de esta fruta presenta una elevada actividad antioxidante (Gupta-Elera et al., 2011).

Albuquerque et al. (2016) determinaron la composición nutricional de la pulpa de cuatro cultivares de chirimoya (Cuadro 4). También, se han cuantificado los fenoles totales de pulpa de chirimoya (*Annona cherimolia*) en extractos orgánicos polares como acetona: agua y metanol: agua (Vasco et al., 2008).

Cuadro 4. Composición nutricional y valor energético, por cada 100 gramos de porción comestible en base húmeda, de la pulpa de cuatro cultivares de *Annona cherimola* Mill.

Componente	Cultivar			
	Funchal	Madeira	Mateus II	Perry Vidal
Energía (kJ (kcal))	376 (89)	429 (102)	378 (89)	345 (81)
Humedad (g)	76.1 ± 0.9	71.5 ± 0.0	75.9 ± 0.3	78.3 ± 0.1
Cenizas (g)	0.372 ± 0.0	0.556 ± 0.0	0.547 ± 0.0	0.510 ± 0.0
Proteína total (g) (NCF = 6.25)	1.96 ± 0.0	1.48 ± 0.1	1.78 ± 0.0	1.36 ± 0.0
Grasa total (g)	0.176 ± 0.0	0.103 ± 0.0	0.133 ± 0.0	0.156 ± 0.0
Carbohidratos disponibles (g)	18.2 ± 0.9	21.1 ± 0.2	18.8 ± 0.4	17.6 ± 0.1

Los valores son medias de tres muestras ± desviación estándar. NCF: Factor de conversión de nitrógeno.

Fuente: Albuquerque et al. (2016).

2.5.5. Subproductos agroindustriales en la producción de chirimoya y su valorización

Durante el procesamiento del fruto de chirimoya, únicamente se aprovecha la pulpa, dejando de lado dos de sus fracciones no comestibles: cáscara y semilla. No obstante, hay estudios en torno a estos subproductos agroindustriales que brindan información para su posible aprovechamiento. Apolonio et al. (2015) evaluaron variables biofísicas, entre las se encuentran los porcentajes

correspondientes a los distintos componentes del fruto de chirimoya de los cultivos 'Campas', 'White' y 'Bonita' (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variables biofísicas de frutos de chirimoya de los cultivos 'Campas', 'White' y 'Bonita'.

Cultivar	Peso fruto (g)	Pulpa (%)	Cáscara (%)	Semilla (%)
Campas	600.03	93.70	1.97	4.33
White	400.21	83.75	10.42	5.83
Bonita	461.12	79.02	12.24	8.74

Fuente: Apolonio et al. (2015).

La especie *Annona cherimola* de la familia *Annonaceae* se caracteriza por la presencia de numerosas sustancias bioactivas de diversa naturaleza química en hojas, raíz, frutos y semillas (García-Barraga, 1974). Leboeuf et al. (1982) mencionan que las semillas contienen triacilglicérols formados por ácidos grasos saturados e insaturados; los más característicos son: ácido linoleico, ácido oleico y ácido esteárico, entre otros. García-Salas et al. (2016) determinaron la composición en ácidos grasos del aceite de las semillas de dos principales cultivos de chirimoya cultivados en Andalucía, España (Cuadro 6).

Cuadro 6. Contenidos de aceite y ácidos grasos expresados en gramos por cada 100 gramos de ésteres metílicos de ácidos grasos en semillas de los cultivares de chirimoya "Fino de Jinete" y "Campa".

	Cultivar	
	Fino de Jinete	Campa
Contenido de aceite	15.12	24.20
C12:0	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00
C14:0	0.05 ± 0.00	0.04 ± 0.00
C15:0	0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.00
C16:0	15.67 ± 0.01	12.90 ± 0.01
cis-C16:1	0.14 ± 0.01	0.10 ± 0.00
C17:0	0.23 ± 0.00	0.12 ± 0.01
cis-C17:1	0.09 ± 0.00	0.04 ± 0.00
C18:0	4.41 ± 0.01	4.23 ± 0.00
cis-9-C18:1	32.48 ± 0.03	44.93 ± 0.01
cis-11-C18:1	n.d.	n.d.
C18:2n-6	43.72 ± 0.02	35.20 ± 0.02
C18:3n-6	0.120 ± 0.005	0.073 ± 0.009
C18:3n-3	2.02 ± 0.00	1.25 ± 0.01
C20:0	0.49 ± 0.00	0.47 ± 0.00
C20:1	0.21 ± 0.00	0.27 ± 0.01
C20:2	0.02 ± 0.00	0.01 ± 0.00
C22:0	0.16 ± 0.00	0.16 ± 0.00
C22:2	0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.00
C24:0	0.14 ± 0.00	0.13 ± 0.00
AGS	21.18 ± 0.00	18.10 ± 0.02
AGMI	32.92 ± 0.03	45.34 ± 0.01
AGPI	45.90 ± 0.03	36.56 ± 0.01
AGI	78.82 ± 0.00	81.90 ± 0.02
AGS/AGI	0.27 ± 0.00	0.22 ± 0.00
n-3	2.02 ± 0.00	1.25 ± 0.00
n-6	43.84 ± 0.03	35.28 ± 0.01

Los valores son medias de tres muestras ± desviación estándar.; AGS: ácido graso saturado; AGMI: ácido graso monoinsaturado; AGPI: ácido graso poliinsaturado; AGI: ácido graso insaturado; n.d.: no detectado.

Fuente: García-Salas et al. (2016)

Ríos et al. (1989) afirmaron que los aceites y otros extractos etanólicos y metanólicos de la chirimoya (hojas, tallos, raíces y semillas) contienen trazas de acetogeninas de reconocida citotoxicidad, que le confieren propiedades importantes e interés a esta familia botánica. Estudios recientes reportan hasta 22 compuestos polares en la semilla, encontrándose en mayor cantidad ácido cítrico, hexóxido de ácido vainílico y glucopiranosido de ácido sirínico (García-Salas et al., 2015), a los cuales se atribuyen las siguientes propiedades:

1. Ácido cítrico: Aditivo alimentario utilizado como conservador, antioxidante, acidulante y saborizante, y común en medicamentos (Muñoz-Villa et al., 2014).
2. Los ácidos fenólicos incluyen el ácido vainílico, usado como copigmento de antocianinas (Ariza-Flores et al., 2014), y el ácido sirínico, estabilizante fitoquímico (Pacheco-Palencia et al., 2008). Ambos tienen propiedades antioxidantes que pueden reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (D' Archivio et al., 2007; Rechner et al., 2002) y cáncer (Gong et al., 2019; Srinivasulu et al., 2018). Sin embargo, no se han extraído ni cuantificado en la goma de semilla.

2.6. Referencias

- Achi, O. K. & Okolo, N. I. (2010). The chemical composition and some physical properties of a water-soluble gum from *Prosopis africana* seeds. *International Journal of Food Science & Technology*. 39(4), 431-436. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00801.x>
- Albuquerque, T. G., Santos, F., Sanches-Silva, A., Beatriz Oliveira, M., Bento, A. C. & Costa, H. S. (2016). Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. fruits and by-products: Potential health benefits. *Food Chemistry*, 193, 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.044>
- Alpizar-Reyes, E., Carrillo-Navas, H., Gallardo-Rivera, R., Varela-Guerrero, V., Alvarez-Ramirez, J. & Pérez-Alonso, C. (2017). Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid. *Journal of Food Engineering*, 209, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.021>

- Andrés, J. & Segura, S. D. (2014). Conservación y uso de los recursos genéticos de *Annonaceae* en México. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 118-124. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500014>
- Apolonio, I., Castañeda, A., Franco, O., Morales, E. J. & González, A. (2015). Pollen source influence and effectiveness in the quality of Chirimoya fruits (*Annona cherimola* Mill.). *Agronomía Costarricense*, 39(1), 61-69.
- Archana G., Sabina, K., Babuskin, S., Radhakrishnan, K., Fayidh, M. A. & Saravana, P. A. (2013). Preparation and characterization of mucilage polysaccharide for biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.062>
- Ariza-Flores, R., Serrano-Altamirano, V., Navarro-Galindo, S., Ovando-Cruz, M. E., Vázquez-García, E., Barrios-Ayala, A., Michel-Avecas, A., Guzmán-Maldonado, S. H. & Otero-Sánchez, M. A. (2014). Variedades mexicanas de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) 'Alma Blanca' y 'Rosalíz' de color claro, y 'Cotzaltzin' y 'Tecoanapa' de color rojo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2), 181-185.
- Avachat, A.M., Dash, R. R. & Shrotriya, S. N. (2011). Recent investigations of plant based natural gums and mucilages in novel drug delivery systems. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 45, 86-89.
- Badu, M., Thompson, P. T. & Boamah, V. E. (2025). In vivo anti-inflammatory activity, acute toxicity profiling, and sub-acute toxicity profiling of extracts from the fruit pulp and seeds of african baobab (*Adansonia digitata* L.). *Scientific African*, 27, e02615. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e02615>
- Bagul, M., Sonawane, S. K. & Arya, S. S. (2015). Tamarind seeds: Chemistry, technology, applications and health benefits: A review. *Indian Food Industry Mag*, 34(3), 28-35.
- Beltrán, C. (2016). Alimentos funcionales. *Farmacia profesional*, 30(3), 12-14.
- Biodiversity International. (2008). Descriptores para chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Roma, Italia: Biodiversity International.
- Bonavia, D., Ochoa, C. M., Tovar, S. O. & Palomino, R. C. (2004). Archaeological evidence of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) and guanabana (*Annona muricata* L.) in ancient Peru. *Economic Botany*, 58, 509-522. [https://doi.org/10.1663 / 0013-0001 \(2004\) 058 \[0509: AEOCAC\] 2.0.CO; 2](https://doi.org/10.1663 / 0013-0001 (2004) 058 [0509: AEOCAC] 2.0.CO; 2)
- Cai, X., Ning, Y., Qin, Z., Liu, H., Wang, X. & Hou, L. (2023). Evaluation of functional properties and freeze-thaw stability of Chinese quince (*Chaenomeles sinensis*) seed gum. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(9), 105088. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105088>

- Castañeda-Ovando, A. González-Aguilar, L. A., Granados-Delgadillo, M. A. & Chávez-Gómez, U. J. (2020). Goma Guar: Un aliado en la Industria Alimentaria. *Publicación semestral Padi*, 7(14), 107-111. <https://doi.org/10.29057/icbi.v7i14.4988>
- Cautín, R. (1998, 17-19 octubre). Floración y polinización [Curso de producción de chirimoyas]. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. La Serena, Chile.
- Chacón-Villalobos, A. (2006). Perspectivas agroindustriales actuales de los oligofructosacáridos (FOS). *Agronomía Mesoamericana* 17(2), 265-286.
- Chandra Mohan, C., Harini, K., Vajiha Aafrin, B., Lalitha priya, U., Maria jenita, P., Babuskin, S., Sudarshan, K., Renuka, V. & Sukumar, M. (2018). Extraction and characterization of polysaccharides from tamarind seeds, rice mill residue, okra waste and sugarcane bagasse for its biothermoplastic properties. *Carbohydrate Polymers*, 186, 394-401. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.057>
- Chatrou, L. W. (1999). The *Annonaceae* and the *Annonaceae* Project: A Brief Overview of The State Of Affairs. *Acta Horticulturae*, 497,43-49.
- Chen, X., Yang, J., Shen, M., Chen, Y., Yu, Q. & Xie, J. (2022). Structure, function and advance application of microwave-treated polysaccharide: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 123, 198-209. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.016>
- Couvreur, T. L. P., Maas, P. J. M., Meinke, D. M. S., Johnson & Kebler, P. J. A. (2012). Keys to the genera of *Annonaceae*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 169, 74-83.
- Crispín-Isidro, G., Hernández-Rodríguez, L., Ramírez-Santiago, C., Sandoval-Castilla., O., Lobato-Calleros, C. & Vernon-Carter, E. J. (2019). Influence of purification on physicochemical and emulsifying properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed gum. *Food Hydrocolloids*, 93, 402-412. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.046>
- D' Archivio, M., Filesi, C., Di Benedetto, R., Gargiulo, R., Giovannini, C. & Masella, R. (2007). Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 43(4), 348-361.
- Delgado, C. H. (2005). *El cultivo de la chirimoya*. Colombia: Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola.
- Díaz-Robledo, J. (2004). *Descubre los frutos exóticos. Primera edición. Capitel Ediciones*.<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DFI1ZhGk614C&oi=fnd&pg=PA14&dq=cosecha+de+chirimoya+en+Espa%C3%B1a+D%C>

3%ADaz+2004&ots=nLiYkwTE7q&sig=6boLeEV-
Dcy6CTap1U82i7lBm9w#v=onepage&q&f=false

- Douaire, M. & Norton, I. T. (2013). Designer colloids in structured food for the future. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(13). <https://doi.org/10.1002/jsfa.6246>
- Elías, R. D. & Cruz-Castillo, J. G. (2002). Chirimoya: investigación Agronómica en México. En J. G. Cruz-Castillo y P. A. Torres-Lima. (Ed.), *Frutales para México, contribuciones del Caribe y Sudamérica* (pp. 101-118). Xochimilco, Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana
- Fernández, R. (2014, 15 de noviembre). *Líderes mundiales en la producción de chirimoya*. Granada Hoy. http://www.granadahoy.com/granada/Lideres-mundiales-produccionchirimoya_0_862414250.html
- Fizman S. & Varela, P. (2013). The role of gums in satiety/satiation. A review. *Food Hydrocolloids*, 32(1), 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.12.010>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). El fomento del cultivo de la chirimoya en América Latina. <http://www.fao.org/docrep/x2450s/x2450s09.htm>
- Fresh Plaza (2014). La chirimoya. <http://www.freshplaza.es/article/35069/Producci%F3n-de-chirimoyaest%E1-aumentando>.
- Frumuzachi, O., Flanagan, A., Rohn, S. & Mocan, A. (2025). *The dichotomy between functional and functionalized foods – A critical characterization of concepts*, 208,116173. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116173>
- García-Barraga, H. (1974). Flora medicinal de Colombia. *Botánica Médica*. Bogotá, Colombia: Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia.
- García-Salas, P., Gómez-Caravaca, A. M., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A. & Fernández-Gutiérrez, A. (2015). Identification and quantification of phenolic and other polar compounds in the edible part of *Annona cherimola* and its by-products by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS. *Food Research International*, 78, 246-257. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.002>
- García-Salas, P., Verardo, V., Gori, A., Caboni, M. F., Segura-Carretero, A. & Fernández-Gutiérrez, A. (2016). Determination of lipid composition of the two principal cherimoya cultivars grown in Andalusian Region. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 390-397. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.004>

- Gerard, T. (1980). En R. I. Davidson, Handbook of water-soluble gums and resins (p. 23). NY., E.U.A.: McGraw-Hill.
- Gong, J., Shengxue, Z. & Shihai, Y. (2019). Vanillic Acid Suppresses HIF-1 α Expression via Inhibition of mTOR/p70S6K/4E-BP1 and Raf/MEK/ERK Pathways in Human Colon Cancer HCT116 Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(465), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ijms20030465>
- Gupta-Elera, G., Garrett, A. R., Martínez, A., Robison, R. A. & O'Neill, K. L. (2011). The antioxidant properties of the cherimoya (*Annona cherimola*) Fruit. *Food Research International*, 44(7), 2205-2209. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.038>
- Mumtaz, A., Ahmed, I. & Ahmad, N. (2019). Sources, structure, properties and health benefits of plant gums: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 46-61. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.103>
- Hernández, A. E. (2010). Evaluación del almacenamiento refrigerado y al ambiente de cuatro ecotipos seleccionados de chirimoya (*Annona cherimola* Mill. [Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica del Ejército]. Repositorio Institucional INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/339>
- Hernández-Fuentes, L. M., Andrés-Agustín, J., Espíndola-Barquera, M. D. C., Castañeda-Vildózola, A., Ballesteros-Patrón, G. & Vera-Sánchez, K. S. (2016). Recursos genéticos de anonáceas (*Annonaceae*) en México: Situación actual y perspectivas. *Agroproductividad*, 9(4), 3-8.
- Hernández-García, B. (2020). Alimentos funcionales. *Gaceta Hidalguense de Investigación en Salud*, 8(2), 3-5.
- Ibáñez, M. C. & Ferrero, C. (2003). Extraction and characterization of the hydrocolloid from *Prosopis flexuosa* DC seeds. *Food Research International*, 36(5), 455-460. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00192-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00192-8)
- Izydorczyk, M., Cui, S. W. & Wang, Q. (2005). Polysaccharide Gums: Structures, Functional Properties and Applications. En S. W. Cui. (Ed.), *Food Carbohydrates* (pp. 254-306). Londres, Inglaterra: Taylor & Francis Group.
- Kaushik, P., Dowling, K., Adhikari, R., Barrow, C. J. & Adhikari, B. (2017). Effect of extraction temperature on composition, structure and functional properties of flaxseed gum. *Food Chemistry*, 215, 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.137>
- Kobashigawa, S. S. (2018). Análisis de oportunidades comerciales en mercados exigentes de la chirimoya a partir del desarrollo de la cadena productiva

en Huaura [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina].
Repositorio Institucional UNALM.
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/ba46e67c-0cf1-49b8-bb35-7f78442f2b3c>

- Laaman, T. R. (2011). *Hydrocolloids: Fifteen practical tips*. Blackwell Publishing Ltd. and Institute of Food Technologists: Hydrocolloids in food processing.
- Leboeuf, M., Cavé, A., Bhaumik, P. K., Mukherjee, B. & Mukherjee, R. (1982). The phytochemistry of the *Annonaceae*. *Phytochemistry*, 21(12), 2783-2813. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(80\)85046-1](https://doi.org/10.1016/0031-9422(80)85046-1)
- Li, Y., Liu, H., Shi, Y., Yan, Q., You, X & Jiang, Z. (2020). Preparation, characterization, and prebiotic activity of manno-oligosaccharides produced from cassia gum by a glycoside hydrolase family 134 β -mannanase. *Food Chemistry*, 309(30), 125709. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125709>
- Lizana, L. A. & Reginato, G. (1990). "Cherimoya". In: Fruits of Tropical and Subtropical origin: Composition, Properties and Uses. Florida, E.U.A.: Florida Science Source.
- López-Franco, Y. L., Cervantes-Montaña, C. I., Martínez-Robinson, K. G., Lizardi-Mendoza, J. & Robles-Ozuna, L. E. (2013). Physicochemical characterization and functional properties of galactomannans from mesquite seeds (*Prosopis* spp.). *Food Hydrocolloids*, 30(2), 656–660. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.08.012>
- Malafaia, C., da Silva, B., Tinoco, L. & Parente, J. (2015). Structural characterization and gastroprotective property of a novel glucofructano from *Allium ampeloprasum* var. *porrum*. *Carbohydrate Research*, 492, 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2014.10.022>
- Manica, I. (1997). Taxionomia, morfologia e anatomia. En Anonáceas. Produção e mercado. (Pinha, graviola, atemóia e cherimólia). Bahia, Brasil: UESB.
- Monroy, R. & Marroquín L. M. (2008). Anonáceas. Un recurso para el desarrollo sustentable. Memoria V del Congreso Nacional de Anonáceas, Cuernavaca, Morelos.
- Mumtaz, A. & Ahmed, I. (2017). Guar and Locust bean gum: Composition, total phenolic content, antioxidant and antinutritional characterisation. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 11, 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2017.07.004>
- Muñoz-Villa, A., Sáenz-Galindo, A., López-López, L., Cantú-Sifuentes, L. & Barajas-Bermúdez, L. (2014). Ácido Cítrico: Compuesto Interesante. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 6(12), 18-23.

- Naji-Tabasi, S. & Razavi, S. (2017). New studies on basil (*Ocimum basilicum* L.) seed gum: part III- Steady and dynamic shear rheology. *Food Hydrocoll.* 67, 243-250. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.020>
- Niknam, R., Mousavi, M. & Kiani, H. (2021). Intrinsic viscosity, steady and oscillatory shear rheology of a new source of galactomannan isolated from *Gleditsia caspica* (Persian honey locust) seeds in aqueous dispersions. *European Food Research and Technology*, 247, 2579-2590. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03818-7>
- Niknam, R., Mousavi, M. & Kiani, H. (2020). New studies on galactomannan extracted from *Trigonella foenum-graceum* (fenugreek) seed: Effect of subsequent use of ultrasound and microwave on the physicochemical and rheological properties. *Food and Bioprocess Technology*, 13(5), 882-900. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02437-6>
- Pacheco-Palencia, L. A., Mertens-Talcott, S. & Talcott, S. T. (2008). Chemical Composition, Antioxidant Properties, and Thermal Stability of a Phytochemical Enriched Oil from Açai (*Euterpe oleracea* Mart.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 4631-4636. <https://doi.org/10.1021/jf800161u>
- Pérez, V., Albengrin, E., Roncal, Z. Berrospi, L., Quispe, E. Córdova, J. C. & Rada, O. (2006). Granadilla, Palta, Lúcumá y Chirimoya: Proyecto parques en peligro (pip). Agencia de los Estados Unidos para el desarrollo internacional (USAID).
- Petrea, P., Amarioarei, G., Apostolescu, N., Puitel, A.C. & Ciovisa, S. (2013). Some aspects of the characterization of vegetable gums: *Prunus persica* (plum) and *Prunus domestica* (cherry). *Cellulose Chemistry and Technology*, 47(5), 369-375.
- Pinto, A. C. Q., Cordeiro, M. C. R., Andrade, S. R. M., Ferreira, F. R., Filgueiras, H. A. de C., Alves, R. E. & Kinpara, D. I. (2005). *Annona* species. University of Southampton. International Center for Underutilised Crops. ISBN: 0854327851
- Qi, Z., Gao, T., Li, J., Zhou, S., Zhang, Z., Yin, M., Hu, H. & Liu, H. (2024). Structural characterization and prebiotic potential of polysaccharides from *Polygonatum sibiricum*. *Food Science and Human Wellness*, 13(4), 2208-2220. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134068>
- Quílez, A. M., Fernández-Arche, M. A., García-Giménez, M. D. & De la Puerta, R. (2018). Potential therapeutic applications of the genus *Annona*: Local and traditional uses and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 225, 244-270. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.06.014>

- Rana, V., Rai, P., Tiwary, A. K. Singh, R. S., Kennedy, J. F. & Knill, C. J. (2011). Modified gums: Approaches and applications in drug delivery. *Carbohydrate Polymers*, 83(3), 1031-1047. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.09.010>
- Rashid, F., Hussain, S. & Ahmed, Z. (2018). Extraction purification and characterization of galactomannan from fenugreek for industrial utilization. *Carbohydrate Polymers*, 180, 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.025>
- Ravindran R. & A. K. Jaiswal. (2015). Exploitation of food industry waste for high-value products. *Trends in Biotechnology*, 34(1), 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.10.008>
- Rechner, A. R., Kuhnle, G., Bremner, P., Hubbard, G. P., Moore, K. P. & Rice-Evans, C. A. (2002). The metabolic fate of dietary polyphenols in humans. *Free Radical Biology & Medicine*, 33(2), 220-235. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(02\)00877-8](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(02)00877-8)
- Reid, G. J. S. (1985). En: P. M. Dey, R.A. Dixon (Eds.), *Biochemistry of Storage Carbohydrates in green plants* (pp. 265-289). Lóndres, Inglaterra: Academic Press.
- Rincón, F., Muñoz, J., Ramírez, P., Galán, H. & Alfaro, M. C. (2014). Physicochemical and rheological characterization of *Prosopis juliflora* seed gum aqueous dispersions. *Food Hydrocolloids*, 35, 348-357. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.013>
- Ríos, J. L., Cortes, D. & Valverde, S. (1989). Acetogenins, Aporphinoids, and Azaanthraquinone from *Annona cherimolia* Seeds. *Planta Medica*, 55(3), 321-323. <https://doi.org/10.1055/s-2006-962020>
- Santala, O., Kiran, A., Sozer, N., Poutanen, K. & Nordlund, E. (2014). Enzymatic modification and particle size reduction of wheat bran improves the mechanical properties and structure of bran-enriched expanded extrudates. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 448-456. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.04.003>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Producción de chirimoya. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultada el 30 de octubre de 2023.
- Shen, T., Gao, S., Liu, Y., Wang, S. & Dong, D. (2025). A novel phosphate detection sensor: From FTIR to EC-QCL. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 327, 125331. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.125331>

- Soukoulis C., Gaiani, C. & Hoffmann, L. (2018). Plant seed mucilage as emerging biopolymer in food industry applications. *Current Opinion in Food Science*, 22, 28-42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.004>
- Srinivasulu, C., Ramgopal, M., Ramanjaneyulu, G. Anuradha, C. M. & Chitta, S. K. (2018). Syringic acid (SA)-A Review of Its Occurrence, Biosynthesis, Pharmacological and Industrial Importance. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 108, 547-557. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.09.069>
- Torres, L. G., Carpinteyro-Urban, S. & Corzo-Rios, L. J. (2013). Use of *Annona Diversifolia* and *A. Muricata* seeds as source of natural coagulant-flocculant aids for the treatment of wastewaters. *European Journal of Biotechnology and Biosecience*, 1(2), 16-22.
- Van Damme, P. & Scheldeman, X. (2013). *El fomento del cultivo de la chirimoya en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/3/x2450s/x2450s09.htm#el%20fomento%20del%20cultivo%20de%20la%20chirimoya%20en%20am%C3%A9rica%20latina>, consultado el 17 de noviembre de 2020.
- Vasco, C. Ruales, J. & Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111(4), 816-823. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.054>
- Vásquez-Castillo, W. A., Viteri-Díaz, P. F., Viera-Arroyo, W. F., Tamayo-Gutiérrez, E. A., Mejía-Bonilla, P. R., Racines-Olivia, M. A., Merino-Toro, J. L., Noboa-Basantes, M. A., Cartagena-Ayala, Y. E. & Meléndez-Jácome, M. R. (2024). (*Annona cherimola* Mill.): producción en los valles interandinos de Ecuador. UDLA Ediciones. <https://www.udlaediciones.com.ec/wp-content/uploads/2024/07/Chirimoyo.pdf>
- Vernon-Carter, E. J., Beristain, C. I. & Pedroza-Islas, R. (2000). Mesquite gum (*Prosopis* gum). *Developments in Food Science*, 41, 217-238. [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(00\)80011-4](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(00)80011-4)
- Vilaró, P., Bennadji, Z., Budelli, E., Moyna, G. Panizzolo, L. & Ferreira, F. (2018). Isolation and characterization of galactomannans from *Prosopis affinis* as potential gum substitutes. *Food Hydrocolloids*, 77, 711-719. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.038>
- Williams, P., Phillips, G. & de Vries, J. (2009). Hydrocolloid gelling agents and their applications. In: McClements, D.J. (Ed.), *Gums and Stabilisers for the Food Industry*. Royal Society of Chemistry: pp. 23–31. <https://doi.org/10.1039/9781847551214-00023>. Special Publications (Chapter 12).

3. Effect of the extraction temperature on the physicochemical, functional and *in vitro* protein digestibility of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) seed composite

ABSTRACT

Cherimoya (*Annona cherimola* Mill) is a tropical crop distributed throughout tropical and sub-tropical regions in Latin-America. A cherimoya seeds composite (CC) was obtained by aqueous extraction of defatted kernel flour at different temperatures (70, 80 and 90 °C) and characterized for physicochemical, functional and *in vitro* protein digestibility properties. Microscopy analysis revealed that the CC has a layered structure, regardless of the extraction temperature. The antioxidant activity was positively affected by the extraction temperature, whilst the protein content and digestibility decreased and increased, respectively. Overall, the results showed that the CC offers a good application potential in the food industry, as emulsion stabilizer, proteinic additive and thickener.

Key words: *Annona cherimola*, glycofructan, cherimoya seed composite, extraction temperature, physicochemical properties, protein denaturation.

3.1. Introduction

Annona cherimola Mill. tree, commonly known as cherimoya or apple custard, is distributed throughout the tropical and subtropical regions of Latin-America and Asia [1]. The leaves, pulp, bark, root, and seeds have been long used in medicine as a source of biological compounds with pharmacological properties including anthelmintic, anti-inflammatory, antihyperglycemic, antipyretic, antioxidant, antimicrobial, healing and cytotoxic; and contain phytochemicals such as tannins, alkaloids, phenols, glycosides, flavonoids and steroids [1, 2]. The fruit pulp which has a very pleasant flavor, has gained worldwide attention due to its reported high nutritional value, as it contains high amounts of A, B, C, E, and K1 vitamins, antioxidants, polyunsaturated fatty acids, and the presence of essential minerals. The pulp is also attributed with a high antioxidant activity, *in vitro* cancer activity [1], contains acetogenins with antifeedant, antimalarial, cytotoxic, and immunosuppressive activities, and diterpenes with anti-HIV principle and antiplatelet aggregation [3]. All these attributes have made the pulp a highly sought product. Spain is the leading producer of chirimoya worldwide having an output of 43484 metric tons in 2023 [4], exporting 45% of the production [5]. Perú, from where chirimoya is native, is the main Latin America producer with an output of about 20000 annual metric tons [6]. The cherimoya pulp is slightly sweeter and less fibrous than the guanabana (*A. muricata*) pulp, making it highly popular among consumers. However, the cherimoya fruit undergoes a fast metabolic process over a short period of time, so that most of the fruit is processed for obtaining pulp.

The processing of the cherimoya fruit yields on average about 55% pulp, 32% peel and 13% seeds on average. Thus, an ongoing research topic is to revalorize fruit waste for obtaining value added products, and to contribute to reduce environmental pollution [7]. There are several literature reports dealing with the obtention of bioactive compounds from the peel and seed wastes of cherimoya fruit processing, mostly concerned with the obtention of phenolic acids, flavonoids and procyanidins, and the evaluation of their antioxidant properties [8]. However,

there is a lack of studies dealing with the characterization of the physicochemical, functional and protein digestibility properties of cherimoya extracts. In this regard, the objective of this work was to extract cherimoya defatted kernel flour with water as solvent, and to evaluate the effect of extraction temperature on the yield, chemical composition, physicochemical, functional and digestibility properties of the cherimoya seed composite (CC).

3.2. Materials and Methods

3.2.1. Vegetal Material

Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruits, also known as custard apple, were obtained from Ocuituco, State of Morelos, Mexico (18° 52' 41" N, 98° 46' 31" W) at an average altitude of 1933 m above sea level. The fruits were harvested without any physical damage.

3.2.2. Defatted Kernel Flour (DKF)

The cherimoya seeds were manually extracted from the pulp, washed with running water, disinfected with 1% v/v NaClO, and dried in an HCF-62 oven (Riossa Digital, Mexico City, Mexico) at 35 °C for 24 h. The kernel fraction of the seeds was obtained by manual separation of the coat. The kernel was pulverized in a blender (Mod. mod. 465-15/13 2V, 500 W motor; Osterizer, Sunbeam Mexicana, S.A. de C.V, Mexico City, Mexico) for two periods of 1 min each and then subjected to a second grinding cycle in a food processor (Mod. NB-201, 600 W motor Nutribullet®, Marcas de Renombre, S.A. de C.V., Mexico City, Mexico) for intervals of 20 s until completing 1 min. Subsequently, the kernel flour was passed through a No. 20 sieve (0.840 mm) (MONTINOX, Mexico City, Mexico). Finally, 60 g of kernel flour was defatted in a Soxhlet using hexane as solvent (150 mL) for 6 h. The DKF was stored in amber glass containers until required for its use [1].

3.2.3. Reagents

Hydrochloric acid (HCl), sodium hydroxide (NaOH), ethyl alcohol (96% v/v), sodium nitrite, aluminum chloride, potassium iodate, tannic acid, Folin-Ciocalteu

reagent, quercetin, gallic acid used were analytical grade. Glucose, fructose, xylose, galactose, arabinose, and mannose were chromatographic grade, and all were obtained from Sigma-Aldrich (Toluca, State of Mexico, Mexico). Canola oil (Alimentos Capullo, Mexico City, Mexico) was used as the dispersed phase in emulsions formation. Distilled and deionized water (DDW) was used in all experiments.

3.2.4. Characterization of the Cherimoya Fruit

Thirty cherimoya fruits were randomly selected from a fruit batch, and characterized for total, pulp, and seeds weight per fruit (g), seeds count per fruit, mean seed mass (g) and seed index (number of seeds in 100 g of pulp). In addition, the length (cm), width (cm) and thickness of the seed (cm) were measured, considering a sample of 100 seeds, using a digital micrometer (MCD-1'' PJ, Mitutoyo Corporation, Kanagawa, Japan).

3.2.5. Extraction of Cherimoya Seed Composite (CC)

Extraction of cherimoya seed composite was carried out as proposed by [2] with slight modifications. DKF (60 g) was placed in a 2 L beaker and DDW was incorporated at a ratio of 1:30 g DKF/ml DDW. The mixture was homogenized on a magnetic plate (Mod. SP131635, Thermo Scientific Cimarec™, Essex, UK) applying a level 9 of stirring, for 10 min. The dispersion was heated at 70 °C for 30 min and left to rest at 20 °C for 24 h to ensure composite release. The mixture was stirred at 6000 rpm for 10 min with a homogenizer (Mod. RO 15 P S1, IKA-Werke GmbH Co. KG, Staufen, Germany). Subsequently, the dispersion was centrifuged at 10 °C for 15 min at 550 ×g in a 5810 R centrifuge (Eppendorf, AG, Hamburg, Germany) to separate and discard the undissolved material.

The composite was separated from the upper liquid by blending the solution with 96% ethanol in a 1:3 ml liquid/ml ethanol, applying constant stirring (5000 rpm) for 10 min with the IKA-Werke homogenizer, and the mixture was allowed to stand for 2 h at 20±1 °C. The precipitated composite was dried in an HCF-62 oven at 35 °C for 18 h [3] and crushed with a mortar and pestle until obtaining a fine

powder which was coded as CC70, i.e., the cherimoya composite extracted at 70 °C. The above procedure was also performed at 80 and 90 °C, and the resulting composite were coded as CC80 and CC90, respectively. The composite was stored at refrigeration conditions (3 °C, 30% humidity) in amber bottles.

3.2.6. Yield

The percentage of dry composite obtained from 100 g of dried DKF was used to express the yield [4], using the following expression:

$$Yield (\%) = \frac{CC}{DKF} \times 100 \quad (1)$$

where CC is the dry weight of composite (g) and DKF is the dry weight of the defatted kernel flour (g).

3.2.7. Physicochemical Characterization

3.2.7.1. Proximal Chemical Analysis

Moisture, ether extract, ash, crude fiber, and protein content of CC were determined according to the [5] standard methods: 925.23, 920.39, 945.46 and 920.105, respectively. The carbohydrate content was obtained by difference.

3.2.7.2. Monosaccharide Composition and Glucose:Fructose (G/F) Ratio

The monosaccharide composition was determined by quantitative analysis using high-performance liquid chromatography (HPLC) following the methodology of [6], but instead of determining the mannose-to-galactose ratio as in their case, we ascertained the glucose to fructose ratio. Also, the hydrolysis stage conditions were changed, where sulfuric acid hydrolysis was carried out at 100 °C for 3 h [7].

3.2.7.3. Color

The color was be evaluated using a Konica Minolta colorimeter (model CR 400, Tokyo, Japan). CC samples (5 g) were placed in Petri dishes (5 cm diam) and the Hunter L, a and b color parameters corresponding to luminosity (L*), green (- a*)

or red (+ a^*) and blue (- b^*) or yellow (+ b^*) were measured at 20 ± 1 °C [8]. A white calibration standard ($Y = 87.3$, $x = 0.3153$, $y = 0.3226$) was used as a reference.

3.2.7.4. ζ -potential, Particle Size (d_h), and Surface Morphology

CC dispersions (0.05% w/w) were adjusted to a pH range from 3 to 9, with increments of two units, by the addition of 0.1 N HCl and/or 0.1 N NaOH. The CC dispersions were placed in the test cell and the electrophoretic mobility was measured with a Zetasizer Nano ZS90 equipment (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, UK). The ζ -potential values of the CC dispersions were obtained from the equipment software. The particle size of CC dispersions (0.01% w/w) was determined by measuring the average hydrodynamic diameter (d_h) with the Zetasizer Nano equipment using a refractive index of 1.334 and an absorption index of 0.001. A scanning electron microscope (SEM, QUANTA 450 FEI Company, Hillsboro, NE, USA) was used for obtaining micrographs of the surface morphology of CC powders. The samples were slightly gold-coated for approximately 15 sec (~5 nm thickness) with a Sputter Coater (Agar Scientific, Stanstead, Essex, UK). Microscope was operated at 17 kV and low-beam current. Micrographs were captured at 1000 $\times$.

3.2.7.5. Water Activity (A_w)

The A_w of CC samples (1.5 g) was determined using the Aqualab series 3 free water index instrument (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA), previously calibrated with deionized water. During the measurement, the temperature was maintained at 25 ± 1 °C.

3.2.7.6. Tapped density (TD), bulk density (BD), and powder cohesion (HR) and compressibility (CI) indexes

The TD (g mL^{-1}) and BD (g mL^{-1}) of the CCs were determined as described by [9]. The powder cohesion (HR) and compressibility (CI) indexes were calculated according to [10], using the following expressions:

$$HR = \frac{TD}{BD} \quad (2)$$

$$CI = 1 - \frac{1}{HR} \quad (3)$$

where HR is the powder cohesion index, CI is the compressibility index, TD is tapped density, and BD is bulk density.

3.2.7.7. Swelling Index (SI)

The swelling index was estimated according to the procedure described by Rashid et al. [11].

One gram of CC was placed in a 50 mL glass test tube; to which 25 mL of DDW were added, followed by vortex agitation every five min until reaching a total time of 1.5 h. The mixture was allowed to stand for 24 h at 4 ± 1 °C, and the volume taken up by the composite was computed. The SI was determined using the following expression:

$$SI (\%) = \frac{\text{Swollen composite (g)} - \text{Dry composite (g)}}{\text{Dry composite (g)}} \times 100 \quad (4)$$

3.2.7.8. Water Absorption Capacity (WAC) and Water Solubility Index (WSI)

The WAC of the CCs was determined as described by [12]. The swollen residue was weighed, and the WAC was obtained using the following expression:

$$WAC (\%) = \frac{w_f - w_i}{w_i} \times 100 \quad (5)$$

where w_f is the swollen CC weight (g), and w_i is the CC initial weight (g).

The suspension was centrifuged in the 5810 R centrifuge, and the supernatant was dried at 105 °C for 4 h to constant weight. Finally, the WSI was calculated with the expression [13]:

$$\text{WSI (\%)} = \frac{w_s}{w_i} \times 100 \quad (6)$$

where w_s is the supernatant weight (g), and w_i is the initial CC weight (g).

3.2.7.9. Oil Holding Capacity (OHC)

The OHC of the CCs was determined as described by [14], with minor modifications. Briefly, 25 mL of extra virgin olive oil (Carbonara®, Walmart, Mexico City, Mexico) was mixed with 250 mg of CC, followed by stirring for 1 h, and then the mixture was allowed to stand at 20 ± 1 °C for 1 h. After centrifugation in a 5810 R centrifuge (3,000 ×g; 20 min), the weight of the residue was calculated and the OHC was expressed as the percentage of oil retained per g of sample.

3.2.8. Antioxidant Activity

3.2.8.1. Total Phenolic Content (TPC)

The TPC was determined as described by [15]. CC (0.5 g) was mixed with 10 mL of 80% methanol. First, 250 µL of CC dispersion were placed in a tube with 200 µL of Folin-Ciocalteu reagent and added 1250 µL of DDW. The tube was shaken briefly and allowed to rest for 3 min. Subsequently, 300 µL of sodium carbonate (15% w/v) was added and incubated at 20 ± 1 °C for 30 min. Absorbance was measured at 760 nm (Genesys 10S UV-VIS spectrophotometer, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). Additionally, a standard curve of gallic acid was prepared (0 – 60 mg). TPC content was expressed as mg of gallic acid equivalents (GAE) g⁻¹ of dry sample.

3.2.8.2. Ferric Reducing/Antioxidant Capacity (FRAP)

The antioxidant activity was evaluated using the FRAP method according to the methodology described by [16]. Aqueous dispersions of the composites (50 mg mL⁻¹) were diluted in acetate buffer (pH = 3.6). Subsequently, aliquots of 25 µL of the dispersions were mixed with 175 µL of FRAP reagent solution composed of: 2.5 mL of TPTZ solution (10 mM) in HCl (40 mM), 25 mL of acetate buffer solution 0.3 M (pH = 3.6), and 2.5 mL of FeCl₃•6H₂O solution (20 mM). Finally, the samples

were incubated for 30 min at 37 °C in the dark, and the absorbance was measured using a Genesys 10S UV–VIS spectrophotometer at 593 nm. Acetate buffer was used as a blank, and a standard curve was prepared with different concentrations of Trolox (50–600 µM). The results were expressed as µmol Trolox equivalents (TE) g⁻¹ of dry sample.

3.2.8.3. ABTS^{•+} Assay

The method described by Raseira et al. [17] was used to determine the ABTS^{•+} radical scavenging capacity of the CCs, with some modifications. A mixture of 5 mL of 7 mM ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) solution and 88 µL of 140 mM potassium persulfate (K₂S₂O₈) was prepared. This mixture was kept in the dark for 16 h before use. After this period, the solution was diluted with ethanol to achieve an absorbance of 0.700 ± 0.002 at 734 nm using a Genesys 10S UV–VIS spectrophotometer. For the assays, 960 µL of the ABTS^{•+} radical solution was mixed with 40 µL of aqueous dispersions of the composites (50 mg mL⁻¹), allowed to react for 6 min, and the absorbance was measured at 734 nm, with distilled water used as a control. A standard curve was prepared with different concentrations of Trolox (50-600 µM). Antioxidant activity was expressed as µmol Trolox equivalents (TE) g⁻¹ of dry sample.

3.2.9. Emulsifying Capacity (EC) and Emulsifying Stability (ES)

Oil-in-water emulsions were formed as described by [18], with some modifications. The dispersed phase was made up by 10 g of canola oil, which was gradually poured into 90 g of CC dispersion (4% w/w) continuously stirred at 8800 rpm for 5 min with an Ultra-Turrax[®] T50 high shear basic homogenizer (IKA Works, Inc., Wilmington, DE, USA). Subsequently the suspensions were centrifuged at 1300 × g for 5 min. The emulsifying capacity (EC) was calculated by means of the expression [11]:

$$EC = \frac{e_v}{t_v} \times 100 \quad (7)$$

where e_v is the emulsion volume and t_v is the total volume. To assess the emulsion stability (ES), the dispersion was heated in a water bath at 80 °C for 30 min, and then centrifuged at $1300 \times g$ for 5 min. The ES was estimated as follows [11]:

$$ES = \frac{f_{ev}}{i_{ev}} \times 100 \quad (8)$$

where f_{ev} is the final emulsion volume and i_{ev} is the initial emulsion volume.

3.2.10. *In vitro* Protein Digestibility

Multienzyme assay of Elsohaimy et al. [19] was employed to determine *in vitro* protein digestibility of CC. Briefly, a CC sample (63.8 mg) was added with 10 mL of DDW and pH adjusted to 8.0 with 1 N NaOH. The sample was digested during 10 min at 37 °C by adding 1 mL of the following enzyme solution: 1.58 mg of porcine pancreatic trypsin (type IX, 15,310 units·mg⁻¹ protein), 3.65 mg of bovine b pancreatic chymotrypsin (type II, 48 units·g⁻¹ of solid), and 0.45 mg of porcine intestinal peptidase (P-7500, 115 units·mg⁻¹ of solid) (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA). After, 1 mL (1.48 mg) of bacterial protease (type XIV, 4.4 units·mg⁻¹ of solid)) (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) solution, was added and digestion was continued for 9 min at 55 °C. The pH value of the mixture was determined after 1 min and used to calculate the *in vitro* protein digestibility (PD):

$$PD (\%) = 234.84 - 22.56X \quad (9)$$

where X is the pH of the suspension after 20 min of digestion.

3.2.11. Statistical Analysis

All experiments were done in triplicate from three independent experiments using a randomized experimental design and values were expressed as mean values $\pm$ SD. Data were subjected to simple classification analysis of variance and in pertinent cases to Tukey's mean comparison analysis. Significance was established at $p \leq 0.05$. Data analysis was performed with the SAS version 9.4 statistical package (SAS Institute Inc., NC, USA).

3.3. Results and Discussion

3.3.1. Characterization of the Cherimoya Fruit

The pulp represented $51.39 \pm 8.26\%$, the peel $33.83 \pm 6.91\%$, and the seed $10.40 \pm 2.78\%$ of the fruit. Around 178 seeds were obtained per kilogram of cherimoya fruit, equivalent to 103.19 g of seed (fresh weight). Apolonio et al. [9] conducted a study to observe data variability among varieties and crosses, obtaining ranges of 78.03-93.71% for pulp, 1.96-15.41% for peel, and 4.30-8.75% for seeds. The differences found could be due to genetic characteristics, ripeness state, agricultural practices, and fruit origin [10]. The width, length, and thickness (cm) of the cherimoya seeds ($n = 100$) were 0.95 ± 0.09 , 1.62 ± 0.10 and 0.66 ± 0.05 , respectively. These values align with those of Pinto et al. [11] who reported a length of 1.5-2 cm and width: ~ 1 cm. The obtained seed index was 37.49 ± 3.16 seeds 100 g^{-1} of pulp. This value is higher than that reported by Apolonio et al. [9] for cherimoya fruit cultivars 'Campas,' 'Bonita,' and 'White,' with a seed index of 8.1, 8.0, and 9.9 seeds 100 g^{-1} of pulp, respectively.

Cuadro 7. Cherimoya seed composite yield and chemical composition.

	Cherimoya Seed Composite		
	CC ₇₀	CC ₈₀	CC ₉₀
Yield (%)	20.58 ± 0.28^b	21.05 ± 0.04^a	18.35 ± 0.41^c
Ash (%)	6.87 ± 0.01^b	6.52 ± 0.00^c	7.06 ± 0.11^a
Protein (%)	70.14 ± 0.70^a	68.78 ± 0.32^b	65.84 ± 0.11^c
Fat (%)	0.86 ± 0.01^c	2.31 ± 0.21^a	1.45 ± 0.11^b
Crude fiber (%)	0.75 ± 0.00^b	0.72 ± 0.03^c	0.82 ± 0.00^a
Carbohydrate (%)	21.40 ± 0.70^c	21.68 ± 0.49^b	24.84 ± 0.33^a

Mean $\pm$ standard deviation. Superscripts with different letters in the same row indicate significant differences ($p \leq 0.05$). CC₇₀, CC₈₀, CC₉₀: cherimoya seed composite extracted at 70, 80 and 90 °C, respectively.

3.3.2. Composition and Morphology

Defatted kernel flour obtained from cherimoya seeds contained in dry basis: $28.87 \pm 0.22\%$ of protein, $36.09 \pm 0.94\%$ of carbohydrate, $25.69 \pm 0.54\%$ of crude fiber, $6.47 \pm 0.57\%$ of fat, and $2.90 \pm 0.05\%$ of ash. The CC moisture content ranged

from 6.06 to 7.34%, and the proximal composition was expressed on dry basis (db) (Cuadro 7). The chemical composition of the CC was significantly affected ($p \leq 0.05$) by the extraction temperature. CC yield and protein content was higher at 80 °C than at either 70 or 90 °C, with carbohydrate content showing an inverse trend with regard that of the protein content. The monosaccharide composition of CC₈₀ per 100g db, determined by HPLC was as follows: glucose (8.69 ± 0.05), fructose (8.23 ± 0.06), xylose (5.65 ± 0.05), galactose (3.64 ± 0.01), and mannose (3.36 ± 0.01). These results demonstrated that CC is a heterobiopolymer that harbors acidic and neutral monomers. Xylose, galactose and mannose represented the neutral monomers, while glucose (G) and fructose (F) are among the acidic monomers. Glucose is the main component (29.39%), followed by fructose (27.89%), so that CC can be considered had a glucofructan structure. The G/F ratio was ~ 1.05 . SEM micrographs at a magnification of 1000 $\times$ showed that the surface morphology of the CCs was characterized by large and small irregular shaped particles without cracks or interruptions and layered structures (Figura 2). Composite displaying these characteristics have been proposed as candidates for micronutrients entrapment [12].

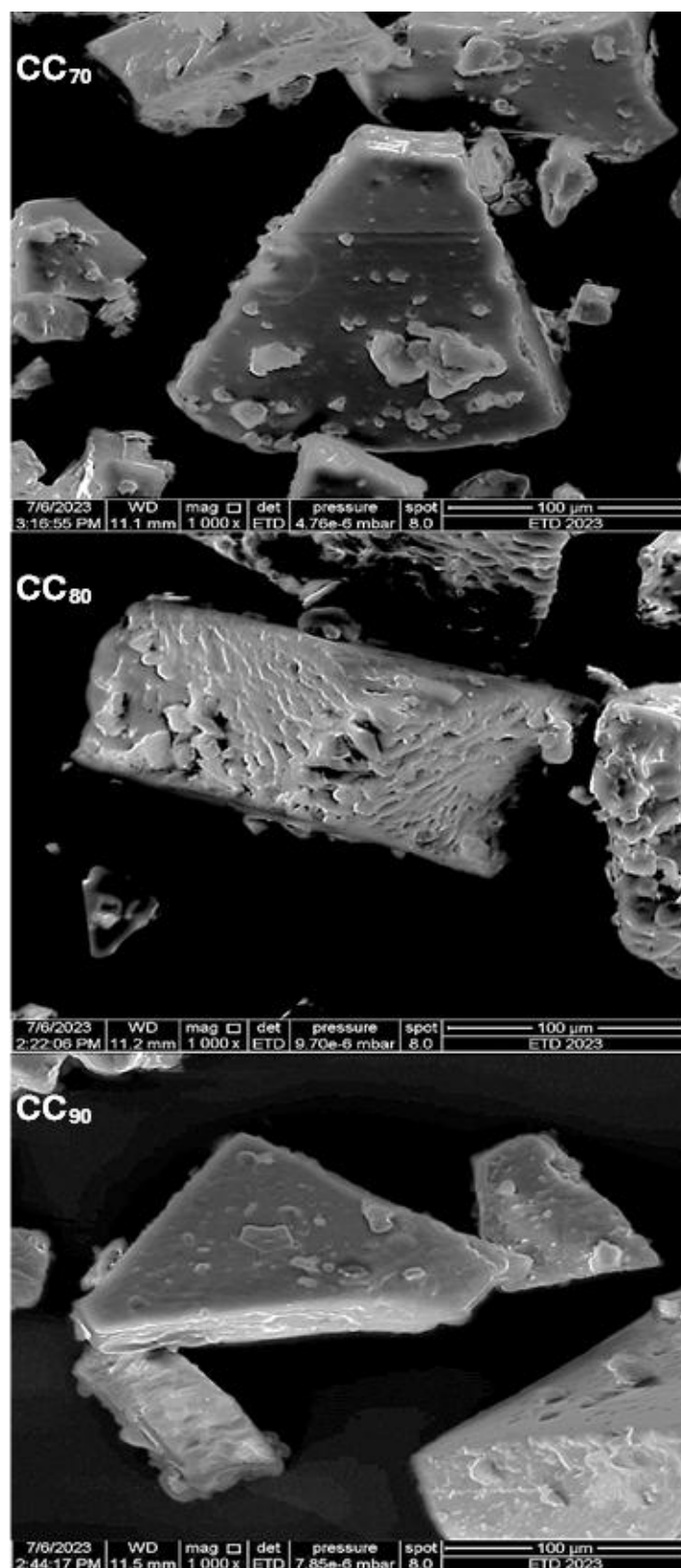


Figura 2. SEM micrographs of cherimoya seed composites (CCs) extracted at: 70 °C (CC₇₀), 80 °C (CC₈₀), and 90 °C (CC₉₀). Magnification 1000 $\times$.

3.3.3. Color

The color parameters L^* , a^* and b^* of the CC were significantly lower as the extraction temperature was lower (Cuadro 8). The small positive values of a^* are indicative that CC displayed a slight red tonality which increased with extraction temperature, probably due to reddish pigments contained in the seed coat [13]. The positive b^* values indicate a tendency to exhibit a yellowish color, probably due to lipid or carotenoids contents. The L^* values which ranged from 33.20 to 55.95, indicate that the CC color tended to become more white or luminous with increasing extraction temperature, probably due to the decrease in the carbohydrate, crude fiber and lipids contents (Cuadro 7).

3.3.4. Swelling Index (SI), Water Solubility Index (WSI), Water Absorption Capacity (WAC), and Oil Holding Capacity (OHC)

The SI ranged from 186.8 to 220.1%, with CC₈₀ exhibiting the highest value (Cuadro 8). The SI values displayed by the CCs were 2 to 3-fold higher than those reported for tamarind gum (81.8%) and gum karaya with different color (white to amber; red to tan; brown to black) and content of bark and foreign organic matter (BFOM) [14]. The SI ranged from 22.3% for the composite with darkest color and highest BFOM to 69.0% for the gum with whiter color and lower BFOM. Both tamarind gum and gum karaya swelling indexes classify them as having good water intake capacity, which means that cherimoya seed composite can be considered as having superior SI. WSI values ranged between 43.2 to 46.8%, with CC₇₀ exhibiting the highest value (Cuadro 8) and were lower than those reported for natural Indian gums such as tamarind (73.3%), karaya (60.1%), ghatti (71.6%), tragacanth (65.2%), psyllium (62.0%), and babchi (81.9%) (Sarkar et al. 2018). The WAC and OHC of the CC increased significantly ($p \leq 0.05$) as the extraction temperature increased (Cuadro 8). Higher WAC values have been associated with higher hydroxyl and protein residues contents in biopolymer structures [15]. This is consistent with the results of the protein contents for CC in Cuadro 7. The OHC values of the CC were like those reported by [16] for kenaf (317%), guar (285%), and carob (308%) gums. OHC has been related to the

nonpolar molecules contained in gums, which confer them with a higher ability to trap larger amounts of oil molecules, and also with the ability to prevent fat and flavor losses during food processing [17].

Cuadro 8. Physicochemical and antioxidant properties of cherimoya seed composite as function of extraction temperature.

	Cherimoya Seed Composite		
	CC ₇₀	CC ₈₀	CC ₉₀
Color			
L*	33.20 ± 0.28 ^c	43.35 ± 0.23 ^b	52.95 ± 0.89 ^a
a*	3.24 ± 0.01 ^c	3.45 ± 0.03 ^b	4.50 ± 0.06 ^a
b*	11.74 ± 0.08 ^c	13.91 ± 0.09 ^b	16.98 ± 0.18 ^a
Aw	0.302 ± 0.003 ^c	0.354 ± 0.003 ^a	0.345 ±
BD (g mL ⁻¹)	0.53 ± 0.01 ^a	0.48 ± 0.00 ^b	0.53 ± 0.00 ^a
TD (g mL ⁻¹)	0.71 ± 0.01 ^c	0.73 ± 0.00 ^b	0.74 ± 0.00 ^a
HR	1.35 ± 0.04 ^b	1.52 ± 0.01 ^a	1.39 ± 0.01 ^b
CI	0.256 ± 0.023 ^b	0.341 ± 0.006 ^a	0.280 ±
WAC (%)	140.31 ± 4.49 ^c	187.68 ± 2.05 ^b	239.99 ± 3.48 ^a
OHC (%)	317.20 ± 1.70 ^c	335.40 ± 0.85 ^b	375.80 ± 3.68 ^a
SI (%)	205.0 ± 1.41 ^b	220.1 ± 1.48 ^a	186.8 ± 1.13 ^c
WSI (%)	46.80 ± 0.00 ^a	43.20 ± 0.00 ^c	45.60 ± 0.57 ^b
TPC (mg GAE g ⁻¹)	64.76 ± 2.70 ^b	65.98 ± 3.45 ^b	68.83 ± 1.52 ^a
FRAP (μm TE g ⁻¹)	7.04 ± 0.11 ^b	7.62 ± 0.32 ^{ab}	8.69 ± 1.61 ^a
ABTS ⁺ (μm TE g ⁻¹)	53.93 ± 7.58 ^b	53.04 ± 1.18 ^b	63.40 ± 4.28 ^a
EC (%)	70.10 ± 0.14 ^a	56.06 ± 0.42 ^b	50.76 ± 0.06 ^c
ES (%)	90.25 ± 0.02 ^a	86.30 ± 0.01 ^b	81.18 ± 0.07 ^c
PD (%)	88.31 ± 0.16 ^b	93.05 ± 0.48 ^a	92.94 ± 0.00 ^a

Mean ± standard deviation. Superscripts with different letters in the same row indicate significant differences ($p \leq 0.05$). CC₇₀, CC₈₀, CC₉₀: cherimoya seed composite extracted at 70, 80 and 90 °C, respectively. Aw: water activity; BD: bulk density; TD: tapped density; HR: powder cohesion index; CI: compressibility index; WAC: water absorption capacity; OHC: oil holding capacity; SI: swelling index; WSI: water solubility index; TPC: total phenolic compounds; FRAP: ferric reducing/antioxidant capacity; ABTS: antioxidant capacity by ABTS⁺ assay; EC: emulsifying capacity; ES: emulsifying stability; PD: protein digestibility.

3.3.5. ζ-potential and Particle Size

The CCs exhibited a ζ-potential that changed in value and sign as a function of pH and extraction temperature (Cuadro 9). At pH 2, all the CCs displayed positive

ζ -potential values that varied as follows: $CC_{70} = CC_{80} > CC_{90}$. As pH increased to 4, the ζ -potential values for CC_{70} and CC_{80} became negative, but for CC_{90} remained positive. Further increases in pH to 6 and 8, produced negative ζ -potential values in all the CCs, with CC_{70} exhibiting the highest negative value at pH 8. The magnitude of ζ -potential values of the CC samples was of the order reported for flaxseed mucilage from seven different cultivars which ranged from -19.80 ± 1.21 mV to -9.25 ± 0.76 mV as the pH varied from 6.25 to 6.70. Barreto et al. [18] mentioned that an anionic character of gums can be due to the presence of negative carboxylate groups (COO^-) derived from the ionization of carboxyl groups ($-COOH$), with the increasing negative values occurring due to the ionization of a greater number of carboxyl groups to carboxylate groups as the pH became more basic. The presence of negative electric charge at neutral and alkaline pH in the CCs characterizes them as anionic polyelectrolytes, with various potential applications in the food industry, e.g., for forming complex coacervates through their interaction with cationic polyelectrolytes. The hydrodynamic diameter d_h significantly decreased ($p \leq 0.05$) with increasing pH (Cuadro 9), regardless of the extraction temperature. The smaller d_h occurred as the carboxyl groups ionization increased with increasing pH values, imparting an increasingly negative charge to the CC molecules. As a result, strong repulsion forces between CC molecules arise, which inhibit their aggregation, and result in decreased particles sizes. The average size and particle distribution of hydrocolloids are important parameters regarding hydration speed, dissolution rate, and emulsifying capacity.

3.3.6. Antioxidant Activity

The TPC content of the CCs (mg GAE g^{-1}) varied as follows: $64.76 (CC_{70}) = 65.98 (CC_{80}) < 68.83 (CC_{90})$ (Cuadro 8). The TPC values for CC extracted at any temperature were superior to that reported for basil seed gum (~ 4 mg GAE g^{-1}), although the latter gum was extracted at 25 °C, assisted by ultrasonication [19]. FRAP values of the CC varied with the extraction treatment from 7.04 to 8.69 $\mu\text{mol TE } g^{-1}$, i.e., the value increased with higher extraction temperature (Cuadro 8).

Although these values indicate that CC has the capacity to donate electrons to react with free radicals, also indicate that it has a low capacity to reduce ferric ions; for example, the gum extracted from the seeds of *Gleditsia capsica* exhibited a FRAP of 30 TE g⁻¹ [20]. The capacity of CC to scavenge the ABTS^{•+} radical increased significantly ($p \leq 0.05$) with increasing extraction temperature, ranging from 53.04 to 63.40 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ (Cuadro 8). These values fall within the reported values of ABTS^{•+} scavenging capacity of various hot-water-extracted polysaccharides from fruits like goji berry, kiwi, blueberry, and cherry (2.8 to 159.3 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$) [21]. A positive correlation between ABTS^{•+} radical scavenging activity and TPC existed. Given that CC₉₀ has a higher content of TPC, it is to expect that the highest ABTS^{•+} radical scavenging activity was also observed at the 90 °C extraction temperature.

Cuadro 9. ζ -potential and hydrodynamic diameter (d_h) of cherimoya seed composite as function of pH.

Parameter	Gum	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8
ζ -potential (mV)	CC ₇₀	18.1 $\pm$ 0.7 ^a	-1.9 $\pm$ 0.2 ^b	-17.3 $\pm$ 1.2 ^b	-23.5 $\pm$ 0.4 ^b
	CC ₈₀	18.7 $\pm$ 0.1 ^a	-6.1 $\pm$ 0.0 ^c	-13.3 $\pm$ 1.8 ^a	-21.3 $\pm$ 0.8 ^a
	CC ₉₀	14.0 $\pm$ 0.2 ^b	4.0 $\pm$ 0.0 ^a	-15.8 $\pm$ 07 ^b	-21.3 $\pm$ 0.9 ^a
d_h (nm)	CC ₇₀	550.4 $\pm$ 1.7 ^a	473.2 $\pm$ 4.7 ^b	325.7 $\pm$ 8.6 ^c	145.8 $\pm$ 2.0 ^d
	CC ₈₀	628.7 $\pm$ 5.9 ^a	576.0 $\pm$ 5.1 ^b	295.8 $\pm$ 2.7 ^c	271.1 $\pm$ 4.5 ^d
	CC ₉₀	490.6 $\pm$ 8.5 ^a	430.4 $\pm$ 6.1 ^b	375.1 $\pm$ 4.6 ^c	359.3 $\pm$ 7.2 ^d

Mean $\pm$ standard deviation. CC₇₀, CC₈₀, CC₉₀: cherimoya seed composite extracted at 70, 80 and 90 °C, respectively. D_h : hydrodynamic diameter. Different superscripts for ζ -potential values in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$). Different superscripts for d_h values in the same row indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

3.3.7. Emulsifying Capacity (EC) and Emulsion Stability (ES)

Significant highest EC and ES were showed by the CC₇₀ in comparison with those showed by CC₈₀ and CC₉₀ (Cuadro 8). In general terms, it has been found that EC and ES are mainly influenced by a combination between the protein/polysaccharide ratio and the total concentration of composite used for forming the emulsions [16]. In this work, the total concentration of CCs used was

the same for all the prepared emulsions, but the differences in the chemical composition of the CCs as an effect of the extraction temperature (Cuadro 7) resulted in different protein/polysaccharide ratios, which varied as follows: CC₇₀ (3.28) > CC₈₀ (3.17) > CC₉₀ (2.65). As higher protein content more protein molecules achieve rapid adsorption at the interface and complete coverage of the oil droplets occurs. EC is a punctual initial condition achieved. ES provides information about the long-term stability of the emulsion droplets to aggregative instabilities and droplet size growth. The carbohydrate fraction of the composites plays an important role, providing stability to the emulsions. Thus, the interactive roles of the protein and polysaccharide relative fractions have bearing on the attractive and repulsive forces arising between the emulsion droplets, on continuous phase viscosity, and on the rheological interfacial properties of the adsorbed gum layers [22].

3.3.8. *In vitro* Protein Digestibility

Cuadro 8 displays the *in vitro* protein digestibility (PD) for the different extraction conditions. The increase of the extraction temperature favored the protein digestibility. Farjami et al. [23] indicated that thermal treatment helps to increase the surface area of protein chains by promoting the unfolding of tertiary (50-60 °C) and secondary (60-90 °C) structures. Thermal treatment tends to increase the surface hydrophobicity of the protein, as it allows the exposure of hydrophobic amino acids to the surface [24].

3.4. Conclusions

The impact of the extraction temperature (70, 80 and 90 °C) on the physicochemical, antioxidant, functional, and structural properties of cherimoya seed composite were assessed in the present work. Composite yield increased from 18.35-20.58% on dry basis with increasing temperature. The extraction temperature affected the chemical composition with CC₇₀ displaying the highest protein content, and CC₉₀ the highest carbohydrate content. The differences in chemical composition caused CC to display different physicochemical properties such as water and oil absorption capacities, swelling index, which influenced oil-

in-water emulsifying capability and stability capability of cherimoya seed composite. The results indicate that specific physicochemical properties and structural features of cherimoya seed composite can be modulated by selecting an appropriate extraction temperature for achieving desired functional properties in specific applications.

Authors' Contributions J.O. Jimenez-Rojas: Experimentation; C. Lobato-Calleros: Conceptualization; Data analysis. L. Rodriguez-Hernandez: Data analysis; E. Rodriguez-Huezo: Research idea; Final article. E. Aguirre-Mandujano: Experimentation. J Alvarez-Ramirez: Data analysis; Draft, final article.

Data Availability All data used are available under request.

Fund None

Competing Interest None

Acknowledgments JORR acknowledges the Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías-México (CONAHCyT) for the Ph.D. scholarship 919643.

3.5. References

- Ahmed Z, Wang Y, Anjum N, et al (2013) Characterization of new exopolysaccharides produced by coculturing of *L. kefiranofaciens* with yoghurt strains. *Int J Biol Macromol* 59:377–383. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2013.04.075>
- Alpizar-Reyes E, Carrillo-Navas H, Gallardo-Rivera R, et al (2017) Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid. *J Food Eng* 209:68–75. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.04.021>
- Alves Magro AE, de Castro RJS (2020) Effects of solid-state fermentation and extraction solvents on the antioxidant properties of lentils. *Biocatal Agric Biotechnol* 28:101753. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2020.101753>
- AOAC (2023) Association of Official Analytical chemists. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>. Accessed 3 Oct 2024

- Aphibanthammakit C, Barbar R, Nigen M, et al (2020) Emulsifying properties of *Acacia senegal* gum: Impact of high molar mass protein-rich AGPs. Food Chem X 6:100090. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2020.100090>
- Apolonio CR, Castañeda I, Franco Á, et al (2015) Agronomía Costarricense. *Annona cherimola* MILL) Agronomía Costarricense 39:61–69
- Bagul M, Sonawane SK, Arya SS (2014) Tamarind seeds: chemistry, technology, applications and health benefits: a review. Indian Food Industry Mag 3:28–35
- Bansal J, Kumar N (2013) Extraction and evaluation of tamarind seed polysaccharide as pharmaceutical in situ gel forming system. American-Eurasian Journal of Scientific Research 9:1–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.5829/idosi.aejr.2014.9.1.8259>
- Barreto-Santos M, dos Santos CHC, de Carvalho MG, et al (2019) Physicochemical, thermal and rheological properties of synthesized carboxymethyl tara gum (*Caesalpinia spinosa*). Int J Biol Macromol 134:595–603. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.05.025>
- Cardoso Lima Reis PM, Dariva C, Barroso Vieira GÂ, Hense H (2016) Extraction and evaluation of antioxidant potential of the extracts obtained from tamarind seeds (*Tamarindus indica*), sweet variety. J Food Eng 173:116–123. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2015.11.001>
- Crispín-Isidro G, Hernández-Rodríguez L, Ramírez-Santiago C, et al (2019) Influence of purification on physicochemical and emulsifying properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed gum. Food Hydrocoll 93:402–412. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.02.046>
- Cuevas-Bernardino JC, Lobato-Calleros C, Román-Guerrero A, et al (2016) Physicochemical characterisation of hawthorn pectins and their performing in stabilising oil-in-water emulsions. React Funct Polym 103:63–71. <https://doi.org/10.1016/J.REACTFUNCTPOLYM.2016.03.024>
- Farjami T, Babaei J, Nau F, et al (2021) Effects of thermal, non-thermal and emulsification processes on the gastrointestinal digestibility of egg white proteins. Trends Food Sci Technol 107:45–56. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.11.029>
- Frutas Los Cursos (2024) Informe completo de la campaña de chirimoya 2023/2024: Producción, precios y exportaciones - Frutas Los Cursos. <https://frutasloscursos.com/informe-completo-de-la-campana-de-chirimoya-2023-2024-produccion-precios-y-exportaciones/>. Accessed 2 Oct 2024
- Gómez-Maldonado D, Lobato-Calleros C, Aguirre-Mandujano E, et al (2020) Antifungal activity of mango kernel polyphenols on mango fruit infected by anthracnose. LWT 126:109337. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109337>
- Hulping F, Mazza G, Liao X (2010) Purification, composition and antioxidant activity of polysaccharides from wolfberry, cherry, kiwi and cranberry fruits. Croatian Journal of Food Science and Technology 2:9–17

- Jamkhande PG, Ajgunde BR, Jadge DR (2017) *Annona cherimola* Mill. (Custard apple): a review on its plant profile, nutritional values, traditional claims and ethnomedicinal properties. *Orient Pharm Exp Med* 17:189–201. <https://doi.org/10.1007/S13596-017-0263-0/TABLES/6>
- Jinapong N, Suphantharika M, Jamnong P (2008) Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *J Food Eng* 84:194–205. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2007.04.032>
- Kalegowda P, Chauhan AS, Nanjaraj Urs SM (2017) *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl) Haw cladode mucilage: Physico-chemical, rheological and functional behavior. *Carbohydr Polym* 157:1057–1064. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.10.070>.
- Lasota M, Lechwar P, Kukula-Koch W, et al (2024) Pulp or Peel? Comparative Analysis of the Phytochemical Content and Selected Cosmetic-Related Properties of *Annona cherimola* L., *Diospyros kaki* Thumb., *Cydonia oblonga* Mill. and *Fortunella margarita* Swingle Pulp and Peel Extracts. *Molecules* 29:1133. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES29051133/S1>
- Liyanage S, Abidi N, Auld D, Moussa H (2015) Chemical and physical characterization of galactomannan extracted from guar cultivars (*Cyamopsis tetragonolobus* L.). *Ind Crops Prod* 74:388–396. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.05.013>
- Malviya R, Raj S, Fuloria S, et al (2021) Evaluation of antitumor efficacy of chitosan-tamarind gum polysaccharide polyelectrolyte complex stabilized nanoparticles of simvastatin. *Int J Nanomedicine* 16:2533–2553. <https://doi.org/10.2147/IJN.S300991>
- Martínez-Velasco A, Lobato-Calleros C, Hernández-Rodríguez BE, et al (2018) High intensity ultrasound treatment of faba bean (*Vicia faba* L.) protein: Effect on surface properties, foaming ability and structural changes. *Ultrason Sonochem* 44:97–105. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2018.02.007>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú (2021) CHIRIMOYA. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1828918/Dossier%20Chirimoya.pdf>. Accessed 2 Oct 2024
- Naqvi SA, Khan MM, Shahid M, et al (2011) Biochemical profiling of mucilage extracted from seeds of different citrus rootstocks. *Carbohydr Polym* 83:623–628. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2010.08.031>
- Nevara GA, Syed Muhammad SK, Zawawi N, et al (2022) Physicochemical and functional properties of carbohydrate–protein gum extracted from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed. *Int J Food Sci Technol* 57:258–267. <https://doi.org/10.1111/IJFS.15421>
- Nevara GA, Syed Muhammad SK, Zawawi N, et al (2022) Physicochemical and functional properties of carbohydrate–protein gum extracted from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed. *Int J Food Sci Technol* 57:258–267. <https://doi.org/10.1111/IJFS.15421>

- Niknam R, Mousavi M, Kiani H (2020) New Studies on the Galactomannan Extracted from *Trigonella foenum-graecum* (Fenugreek) Seed: Effect of Subsequent Use of Ultrasound and Microwave on the Physicochemical and Rheological Properties. *Food Bioproc Tech* 13:882–900. <https://doi.org/10.1007/S11947-020-02437-6/TABLES/7>
- Niknam R, Mousavi M, Kiani H (2021) Intrinsic viscosity, steady and oscillatory shear rheology of a new source of galactomannan isolated from *Gleditsia caspica* (Persian honey locust) seeds in aqueous dispersions. *European Food Research and Technology* 247:2579–2590. <https://doi.org/10.1007/S00217-021-03818-7/FIGURES/5>
- Niknam R, Mousavi M, Kiani H (2021) Intrinsic viscosity, steady and oscillatory shear rheology of a new source of galactomannan isolated from *Gleditsia caspica* (Persian honey locust) seeds in aqueous dispersions. *European Food Research and Technology* 247:2579–2590. <https://doi.org/10.1007/S00217-021-03818-7/FIGURES/5>
- Perez-Flores FA, Jiménez-Zurita JO, Bautista-Rosales PU, et al (2023) Overview of custard apple (*Annona reticulata* L.), pharmacology and phytochemicals. A review. *Revista Bio Ciencias* 10:1-18. <https://doi.org/10.15741/REVBIO.10.E1401>
- Pinto ACQ, Cordeiro MCR, Andrade SRM, et al (2005) *Annona* Species. *Annona species* 1:284
- Rasera GB, Hilkner MH, de Castro RJS (2020) Free and insoluble-bound phenolics: How does the variation of these compounds affect the antioxidant properties of mustard grains during germination? *Food Research International* 133:109115. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109115>
- Rashid F, Ahmed Z, Hussain S, et al (2019) *Linum usitatissimum* L. seeds: Flax gum extraction, physicochemical and functional characterization. *Carbohydr Polym* 215:29–38. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.03.054>
- Rashid F, Hussain S, Ahmed Z (2018) Extraction purification and characterization of galactomannan from fenugreek for industrial utilization. *Carbohydr Polym* 180:88–95. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2017.10.025>
- Robertson JA, De Monredon FD, Dysseler P, et al (2000) Hydration Properties of Dietary Fibre and Resistant Starch: a European Collaborative Study. *LWT - Food Science and Technology* 33:72–79. <https://doi.org/10.1006/FSTL.1999.0595>
- Rodrigues DC, Cunha AP, Brito ES, et al (2016) Mesquite seed gum and palm fruit oil emulsion edible films: Influence of oil content and sonication. *Food Hydrocoll* 56:227–235. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2015.12.018>
- Rojas-García A, Rodríguez L, Cádiz-Gurrea M de la L, et al (2022) Determination of the Bioactive Effect of Custard Apple By-Products by *In Vitro* Assays. *International Journal of Molecular Sciences* 2022, Vol 23, Page 9238 23:9238. <https://doi.org/10.3390/IJMS23169238>

- Salehi F, Inanloodoghous M (2023) Effects of gum-based coatings combined with ultrasonic pretreatment before drying on quality of sour cherries. *Ultrason Sonochem* 100:106633. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2023.106633>
- Scheldeman X, Van Damme P, Romero-Motoche J, Urena-Alvarez J V. (2006) Germplasm collection and fruit characterisation of cherimoya (*Annona cherimola*) in Loja Province, Ecuador, an important centre of biodiversity. *Belgian Journal of Botany* 139:27–38
- Souza FTC, Santos ER, Silva JDC, et al (2018) Production of Nutritious Flour from Residue Custard Apple (*Annona squamosa* L.) for the Development of New Products. *J Food Qual* 2018:5281035. <https://doi.org/10.1155/2018/5281035>
- Valencia Fruits (2024) Arranca la campaña de chirimoya con una previsión de 45.000 toneladas. <https://valenciafruits.com/arranca-campanya-chirimoya-prevision-45-000-toneladas/>. Accessed 2 Oct 2024
- Van de Vondel J, Lambrecht MA, Delcour JA (2022) Heat-induced denaturation and aggregation of protein in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds and whole meal. *Food Chem* 372:131330. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131330>

4. CONCLUSIONES GENERALES

Este estudio destaca el potencial de la goma extraída de semillas de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) como un biopolímero funcional con propiedades fisicoquímicas ajustables mediante la modificación de la temperatura durante el proceso de extracción acuosa. Las semillas de chirimoya representan una fuente rica en polisacáridos y compuestos bioactivos, pero actualmente son consideradas un subproducto agroindustrial sin aprovechamiento.

Al aplicar temperaturas de extracción de 70, 80 y 90 °C, se observaron diferencias significativas en las propiedades del compuesto de semilla (CC). En particular, el incremento de la temperatura favoreció la actividad antioxidante y la digestibilidad proteica *in vitro*, mientras que el contenido de proteína disminuyó ligeramente. Asimismo, las propiedades funcionales, como la capacidad de absorción de agua, solubilidad, retención de aceite y estabilidad emulsificante, se vieron favorecidas por la temperatura de extracción.

Por lo tanto, fue posible obtener compuestos con distintas propiedades funcionales ajustando el parámetro de temperatura, lo cual puede ser relevante para aplicaciones en la industria alimentaria. El análisis microscópico reveló que la estructura del CC presentó una morfología en capas, independiente de la temperatura de extracción. Asimismo, el análisis de potencial ζ y tamaño de partícula mostró que las características coloidales del compuesto varían según las condiciones del medio, como el pH, lo cual podría influir en su comportamiento en diferentes sistemas alimentarios.

En consecuencia, el compuesto de semilla de chirimoya exhibió un comportamiento tecnofuncional adecuado para su uso como estabilizante de emulsiones, agente espesante o aditivo proteico en formulaciones alimentarias.

Su aplicación podría representar una alternativa viable y sostenible para la valorización de residuos agroindustriales.

En resumen, la goma de semilla de chirimoya puede ser empleada para desarrollar ingredientes funcionales cuyas propiedades pueden ser moduladas mediante el control de la temperatura de extracción. Sin embargo, se requieren estudios adicionales para evaluar su desempeño en matrices alimentarias reales, así como su viabilidad económica y aceptación sensorial en aplicaciones comerciales.

Apéndice 1. Portada de artículo científico publicado.

Plant Foods for Human Nutrition (2025) 80:78
https://doi.org/10.1007/s11130-025-01319-6

RESEARCH



Effect of the Extraction Temperature on the Physicochemical, Functional and In Vitro Protein Digestibility of Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) Seed Composite

Jairo O. Ramírez-Rojas¹ · Consuelo Lobato-Calleros^{1,2} · Landy Hernández-Rodríguez^{1,2} · Eleazar Aguirre-Mandujano^{1,2} · M. Eva Rodríguez-Huezo³ · Jose Álvarez-Ramírez⁴

Accepted: 4 February 2025

© The Author(s), under exclusive licence to Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2025

Abstract

Cherimoya (*Annona cherimola* Mill) is a tropical crop widely distributed in Latin America, valued for its fruit and traditional medicinal properties. The fruit contains biological compounds with various health benefits (e.g., anthelmintic, anti-inflammatory and antihyperglycemic). During pulp separation a significant number of seeds (~13%) is generated. This last non-edible fraction, considered an environmental contaminant of the agroindustry, constitutes an interesting alternative source of a wide variety of macromolecules that can potentially confer desired functional properties to pharmaceutical and food matrices. In this sense, this study aimed to develop a cherimoya seed composite (CC) and investigate the effect of extraction temperature on its antioxidant, functional, physicochemical, and in vitro protein digestibility properties. CC was obtained through aqueous extraction of defatted kernel flour at 70, 80 and 90 °C, followed by characterization of its physicochemical, functional, and in vitro protein digestibility properties. Microscopy analysis revealed a layered structure in the CC, regardless of the extraction temperature. The results showed that highest extraction temperature (90 °C) positively affected antioxidant activity ($63.40 \pm 4.28 \mu\text{m TE g}^{-1}$) and protein digestibility (92.94%) but negatively impacted emulsification capacity ($50.76 \pm 0.06\%$) and stability ($81.18 \pm 0.07\%$). Water absorption capacity was positively correlated with extraction temperature, showing the highest value at 90 °C ($239.99 \pm 3.48\%$). Overall, this study demonstrates the potential of CC as a valuable ingredient in the food industry, suitable for use as an emulsion stabilizer, protein additive, and thickener.

Keywords *Annona cherimola* · Glycofructan · Cherimoya seed composite · Extraction temperature · Physicochemical properties · Protein denaturation

✉ Consuelo Lobato-Calleros
consuelobato@yahoo.com

¹ Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 carretera México-Texcoco, Texcoco City, Estado de México 56230, México

² Departamento de Preparatoria Agrícola y Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 carretera México-Texcoco, Texcoco City, Estado de México 56230, México

³ Estado de México, Tecnológico Nacional de México, TES de Ecatepec, Av. Central, Col. Valle de Anáhuac, Ecatepec City 55210, México

⁴ Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa, México City, Apartado Postal 55534, 09310, México

Introduction

The *Annona cherimola* mill. tree, commonly known as cherimoya or apple custard, is native to Latin America and widely distributed throughout tropical and subtropical regions of Latin America and Asia [1]. For centuries, its leaves, pulp, bark, root, and seeds have been used in traditional medicine, providing a rich source of biological compounds with pharmacological properties, including anthelmintic, anti-inflammatory, antihyperglycemic, antipyretic, antioxidant, antimicrobial, healing, and cytotoxic activities [1, 2]. These compounds include phytochemicals such as tannins, alkaloids, phenols, glycosides, flavonoids, and steroids. The fruit pulp (Fig. 1) is not only prized for its pleasant flavor but also for its high nutritional value,

Published online: 24 February 2025

Springer